

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

«На правах рукопису»
УДК 621.313:625.745.5

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ О.А. Охріменко
(підпис)
“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка _____
(код і назва)

на тему: Автомагістральний вітрогенератор з елементом пасивної безпеки (комплексна магістерська дисертація) _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи МІ-82мп _____
(шифр групи)

_____ Дудар Олександр Андрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник проректор, д.т.н., професор, Пасічник В.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет)) Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А.Пасічник
(підпис)

« ____ » _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Дудар Олександр Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)**

1. Тема дисертації Автомагістральний вітрогенератор з елементом пасивної безпеки (комплексна магістерська дисертація)

науковий керівник дисертації Пасічник В.А., д.т.н., професор, _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Процес пошуку технічного рішення конструкторсько-технологічного забезпечення автомагістрального вітрогенератора із пасивною системою безпеки. _____

4. Предмет дослідження Параметри конструкції та технології виготовлення вітрогенеруючої системи. _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Провести огляд конструкції та історії розвитку вітрогенеруючої системи; Розглянути методику розрахунку ефективності вітрогенеруючої системи; Визначити програмне забезпечення для комп'ютерної симуляції. Створити конструкторську документацію вітрогенеруючої системи; Створити технологію виготовлення, створити прототип вітрогенеруючої системи; Створити стартап проекту для ринку.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Виготовлення макету в масштабі 1:1, презентація по роботі _____

7. Орієнтовний перелік публікацій 2 тези доповіді на науковій конференції за темою дослідження. Патент на винахід _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 1.09.2018 _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд та аналіз ринку вертикальних вітрогенераторів для автомагістралей	1.01.2019	
2	Дизайн та конструкторське забезпечення проекту	1.04.2019	
3	Технологічне забезпечення виготовлення робочого зразка вітрогенератора «CARWIND»	1.07.2019	
4	Стартап-проект «CARWIND»	1.10.2019	
5	Підготовка презентації та оформлення роботи	30.11.2019	

Студент

(підпис)

О.А. Дудар
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

В.А. Пасічник
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

АНОТАЦІЯ

Дудар О.А. Автомагістральний вітрогенератор з елементом пасивної безпеки (комплексна магістерська дисертація)

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування (інженерний дизайн). Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2019

Дипломний проект присвячений питанням проектуванню автомагістрального вітрогенератора в умовах сучасної української економіки. За результатами аналізу різних конструкцій вітрогенераторів була прийнята двохлопатева конструкція із складною формою лопатей. Висота вітрогенератора та діаметр обрано із рекомендацій з розміщення його біля дорожньої огорожі. Конструкція вітрогенератора розроблена таким чином, щоб складання її займало мінімум часу. Це призводить до зменшення часу монтажу.

Були проведені комп'ютерні розрахунки та симуляції повітряних мас, які сприймає вітрогенератор, який знаходиться біля автомагістралі. Саме за рахунок цих симуляцій була обрана форма та кількість лопатей.

Для покращення спрямування повітряного потоку, розроблена конструкція, що призводить до збільшення обертання лопатей навколо осі вітрогенератора, що знаходиться з правого боку від руху автомобілів. Були обрані матеріали, які використовуються при виготовленні лопатей та конструкції спрямування повітряного потоку. Був розроблений стартап проект за виготовленою конструкцією вітрогенератора.

Робота виконана з використанням сучасних програмних засобів та комп'ютерних технологій моделювання, а саме: обробка цифрових даних, розрахунок аналітичних показників – за допомогою програми Mathcad; моделювання та аналіз – в програмах Autodesk.

Ключові слова: вітрогенератор, лопаті, повітряний потік, вітер, турбіна, автомагістральний, генератор.

ABSTRACT

Dudar O.A. Highway wind generator with element of passive safety (complex master's thesis)

The dissertation project is devoted to the design of a highway wind turbine in the conditions of the modern Ukrainian economy. According to the results of the analysis of various designs of wind turbines, a two-blades design with a complex form of blades was adopted. The height of the wind turbine and the diameter selected from the recommendations for placing it near the road fence. The design of the wind generator designed in such a way that its assembly takes a minimum of time. This will reduce the installation time and ease in the assembly and repair of wind turbine units.

Computer calculations and simulations of air masses which catches a wind generator near the highway. It was at the expense of these simulations that the shape and number of blades were chosen.

In order to improve the direction of air flow, a design developed that will increase the rotation of the blades around the axis of the wind turbine. Materials to be used in the manufacture of blades and air direction design will be selected. A startup project developed for the wind turbine construction.

The work done using modern software and computer simulation technologies, namely: digital data processing, calculation of analytical indicators - using the Mathcad program; modeling and analysis - in Autodesk programs.

Key words: wind turbine, blades, air flow, wind, turbine, highway, generator.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Автомагістральний вітрогенератор з елементом пасивної безпеки» містить 137 сторінок пояснювальної записки, рисунків – 90, таблиць – 33, використаних джерел – 84, ілюстрації, що включає 30 слайдів презентації графічної частини, один макет.

Актуальність теми.

Рух автомобілів створює високі повітряні хвилі, які можна уловлювати за допомогою вертикальних вітрогенераторів. Це додаткове джерело «зеленої» енергії, яку можна використовувати для освітлення та підігріву доріг та підзарядки автомобілів. А поєднання таких вітрогенераторів з пружними елементами пасивної безпеки дозволить як підвищити ефективність генератору так і безпеку руху. Завдання виготовити конструкцію вітрогенератора із елементом пасивної безпеки, яка забезпечить генерування енергії та безпеку під час руху.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Магістерська дисертація виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України та спрямована на підготовку стартап-проекту на фестиваль «Сікорські Челедж».

Мета дослідження.

Удосконалення конструкції та технології виготовлення автомагістрального вітрогенератора із системою пасивної безпеки.

Задачі дослідження:

1. Огляд конструкції та історія розвитку вітрогенеруючої системи; Методика розрахунку ефективності вітрогенеруючої системи; Визначення програмного забезпечення для комп'ютерної симуляції.
2. Створення конструкторської документації вітрогенеруючої системи.
3. Створення технології виготовлення, створення прототипу вітрогенеруючої системи. Проведення фізичних випробувань вітрогенеруючої системи.

4. Створення стартап проекту для ринку.

Об'єкт дослідження — Процес пошуку технічного рішення та конструкторсько-технологічного забезпечення автомагістрального вітрогенератора із пасивною системою безпеки.

Предмет дослідження — параметри конструкції та технології виготовлення вітрогенеруючої системи.

Методи дослідження. Аналіз інженерних рішень, методи активізації пошуку інженерних рішень (мозковий штурм), пошукове, системний аналіз та відбір кращих рішень за системою критеріїв, моделювання структури, компонентів та загального дизайну рішення в цілому та його компонентів спираючись на сучасні системи автоматизованого проектування, моделювання, технологічного підготовки виробництва, а саме Autodesk Inventor, Autodesk Fusion 360, Autodesk Flow Design, Autodesk AutoCad.

Наукова новизна отриманих результатів. Удосконалення технічного рішення вітрогенеруючої системи для вироблення електроенергії на автомагістралях, за рахунок повітряних потоків, що надходять від руху автомобілів різних розмірів, яка оснащена елементом пасивної безпеки для забезпечення безпеки руху на автомагістралях.

Практичне значення отриманих результатів. На базі концептуального рішення створено конструкція нового автомагістрального вітрогенератора із елементом пасивної безпеки – CarWind, тривимірні моделі, та фізичний макет дизайну.

Публікації. По темі магістерської дисертації опубліковано 2 матеріали доповіді на науковій конференції, надіслано заявку на винахід та підготовлено заявку на товарний знак.

Ключові слова: вітрогенератор, лопаті, повітряний потік, вітер, турбіна, автомагістральний, генератор.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМАГІСТРАЛЬНИХ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ	13
1.1 Альтернативні джерела енергії.....	13
1.1.2 Енергія вітру. Вітроенергетика. Використання, плюси та мінуси. Прогрес в Україні та в світі.....	14
1.1.3 Вітрогенератори. Історія вітрогенераторів	18
1.2 Інженерний і економічний аналіз вітрогенераторів для автомагістралей	22
1.2.1 Горизонтальні вітрогенератори. Переваги та недоліки	22
1.2.2 Вертикальні вітрогенератори. Переваги та недоліки.....	22
1.2.3 Аналіз вертикальних вітрогенераторів Савоніуса та Дар'є.....	23
1.3 Середовища моделювання.....	24
1.4 Пошук перспективних інженерних рішень вертикальних вітрогенераторів для автомагістралей	26
1.4.1 Передові інженерні рішення в галузі.....	27
1.4.2 Мозковий штурм пошуку технічного рішення.....	29
1.4.3 Прогноз стартап-проекту	31
1.5 Висновки по розділу	33
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАГІСТРАЛЬНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА ІЗ ЕЛЕМЕНТОМ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ.....	35
2.1 Опис роботи	35
2.2 Технічне рішення автомагістрального вітрогенератора з елементами пасивної безпеки.....	36
2.2.1 Кінематична схема автомагістрального вітрогенератора з елементами пасивної безпеки	36

2.2.2 Патентування винаходу.....	37
2.2.3 Ескізний проект автомагістрального вітрогенератора з елементами пасивної безпеки	40
2.3 Аналітичні розрахунки елементів автомагістрального вітрогенератора з елементами пасивної безпеки	43
2.3.1 Визначення кількості лопатей	43
2.3.2 Визначення форми перерізу лопастей	52
2.3.3 Кількість ступенів роторної системи	53
2.3.4 Торцеві плити	54
2.3.5 Спіральні лопаті	55
2.3.6 Визначення параметрів дефлекторів.....	56
2.4 CFD-аналіз	58
2.4.1 CFD –аналіз конструкцій із різною кількістю лопатей.....	58
2.4.2 CFD – аналіз конструкцій із різною кількістю ступенів.....	61
2.4.3 CFD – аналіз конструкції із спіральними лопатями.....	63
2.4.4 CFD – аналіз конструкції із дефлектором	63
2.5 Розрахунок елементів конструкції вітрогенеруючої частини	65
2.6 Конструкція автомагістрального вітрогенератора із елементом пасивної безпеки.....	88
2.7 Висновки по розділу	94
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОЕКТУ CARWIND	95
3.1 Технологія виготовлення верхніх вертикальних опор і верхньої горизонтальної опори.....	95
3.2 Технологія виготовлення ротора вітрогенератора.....	95
3.3 Виготовлення макету CarWind	100
3.4 Висновки по розділу	105
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ CarWind.....	106
4.1 Опис ідеї проекту	106

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	108
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	109
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	115
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	117
4.6 Брендінг	120
4.7 Висновки по аналізу стартап-проекту.....	122
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	123
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	124
ДОДАТКИ.....	133
Додаток А.....	133
Додаток Б	137

ВСТУП

З кожним днем населення Землі зростає стрімкими темпами і воно потребує все більше і більше ресурсів для існування, наприклад корисних копалин: вугілля, нафта та природний газ. Всі ці ресурси використовуються для утворення електроенергії, але їх популярність і запаси в земній корі з кожним роком зменшується. На заміну традиційним джерелам енергії є альтернативні джерела енергії, а саме : енергія сонця, вітроенергетика, енергія припливів, гідроенергетика, біоенергетика та геотермальна енергетика.

Створення нових технологій – це показник економічного зростання країни та показник виміру ефективності виробництва. Важливим фактором виробництва також є вплив на навколишнє середовища. Цей вплив дозволяють мінімізувати альтернативні джерела енергії.

У вітроенергетики в Україні великий потенціал. Більшість країн світу використовує більшість вітрогенераторів в морях та океанах, де швидкість вітру досить висока, для генерування достатньої кількості електроенергії. У великих вітрогенераторах є декілька суттєвих недоліків: проблематичний ремонт, висока гучність роботи, необхідність великих площ, для встановлення. Так як, Україна географічно розміщена на такій місцевості, де швидкість вітру не досить для генерування необхідної кількості електроенергії – потрібно використовувати всі локації, де можливі потоки вітру.

На сьогоднішній день вітрогенератори середніх та малих розмірів набирають популярність як у комерційних секторах так і в приватних будівлях. Вітрогенератори малих розмірів можливо використовувати на дахах будівель, стовпах, на мостах та на автомагістралях. Автомагістралей в Україні все більше і якість покриття на досить високому рівні. Саме на таких автомагістралях автомобіль їде із максимально допустимою швидкістю і це якось потрібно використовувати. Виникла ідея створення вітрогенератора або системи вітрогенераторів, які будуть уловлювати потоки вітру від автомобілів та генерувати

електроенергію, яка буде використовуватись на автомагістралях або транспортуватись в необхідне місце. В подальшому таку систему можливо використовувати на залізничних коліях або на мості. Слід очікувати, що кількість автомобілів та їх швидкість в майбутньому буде збільшуватись.

За попередньо опрацьованим матеріалом, можна зробити висновок, що вітрогенератори, які на сьогоднішній день є на ринку, свідчать про необхідність в удосконаленні або можливо новому дизайнерському або інженерному погляді на сучасний вітрогенератор для автомагістралей.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМАГІСТРАЛЬНИХ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

1.1 Альтернативні джерела енергії

1.1.1 Альтернативна енергія. Майбутнє альтернативної енергії

Історія альтернативних джерел енергії розпочинається ще із давніх часів, коли людини використовувала енергію сонця, гідроенергетики та енергії вітру, наприклад для переміщення на човнах. Потім людство почало використовувати корисні копалини, такі як: вугілля, природний газ та нафта, а ще пізніше – ядерне паливо. Ці джерела енергії називають традиційними джерелами енергії. [1]

Традиційні джерела енергії є непоновлювальними: витрачений барель нафти є безповоротно витраченим і його не можна поновити. Чому тоді ці джерела використовували останні 200 років? Тому що, саме природний газ, вугілля та нафта мають дуже високу густину енергії в одній одиниці об'єму і це призводить до дуже ефективного використання цих ресурсів, але з іншого боку вони катастрофічно впливають на стан навколишнього середовища. [1]

За міжнародною класифікацією до поновлювальних джерел енергії відносять: вітроенергетика, гідроенергетика, біоенергетика, геотермальна енергетика, сонячна енергія та енергія припливів і відпливів. Ці джерела майже стовідсотково не завдають школи навколишньому середовищі. Запаси енергії майже нескінченні, тому що поновлюються весь час. Мінімізуються витрати і час на персонал та на транспортування ресурсів. Немає необхідності створення кладовищ для радіоактивних елементів, які використовуються на ядерних електростанціях. Ще однією перевагою наділені відновлювальні джерела енергії – це те, що джерела енергії знаходяться безпосередня біля споживача, що дозволяє уникнути значних витрат на транспортування електроенергії. Але в свою чергу відновлювальним джерелам енергії притаманні певні недоліки. Головними з яких

є: дуже низька густина енергії в одиниці об'єму та недостатня кількість інженерно-технічних вирішень проблем, які наявні в технологіях отримання енергії. [1]

У табл. 1.1 наведені прогнозні обсяги у нафтовому еквіваленті відновлюваних джерел енергії в загальному енергоспоживанні, подані у звіті Європейської ради з відновлюваної енергетики.[1]

Таблиця 1.1 – Зростання споживання відновлювальної енергії [1]

ВДЕ	Споживання в 2001 році, млн т н. екв.	Споживання в 2040 році, млн т н. екв.	Зростання споживання, рази
Біомаса	1080	3272	3,02
Велика гідроенергетика	223	358	1,6
Мала гідроенергетика	10	189	18,9
Вітроенергетика	5	668	137,6
Фотоелектрика	0,2	784	3920
Сонячна теплова енергетика	4	480	120
Сонячна електроенергетика	0,1	68	680
Геотермальна енергетика	43	493	11,5
Енергія припливів та хвиль океану	0,05	20	400
Всього	1365	6351	4,6

Аналізуючи дані з табл. 1.1 можна зробити висновок, що вітроенергетика збільшиться обсяг отримання енергії із вітру в 137,6 разів за 40 років. Отже, розглянемо це питання більш детально.

1.1.2 Енергія вітру. Вітроенергетика. Використання, плюси та мінуси.

Прогрес в Україні та в світі.

Вітер – це екологічно чисте і поновлювальне джерело енергії, яке використовують для виробництва електроенергії вже багато десятиків років. Вітер – потоки повітря, які перебувають в паралельному русі до поверхні Землі. Всі вітри на планеті утворюються за рахунок різниці в тиску повітря між декількома регіонами, які в свою чергу виникають через диференціальне нагрівання поверхні

Землі. Цікаво, що вітер – це продукт сонячної енергії, як і вугілля, нафта або природний газ. [2]

Потоки вітру також можуть створюватись внаслідок проїзду автомобіля по автомагістралі. Розвинуті країни швидкими темпами створюють цілі системи автомагістралей з дозволом проїзду із необмеженою швидкістю або із дуже високою. Якість покриттів цих дорожніх шляхів також покращуються із кожним роком за рахунок використання нових технологій. Керівництво Китайської Народної Республіки та країни Європи розглядають створення високоякісних мереж дорожніх шляхів, як перспективи розвитку економіки цих країн.

“У квітні 2017 року в Україні офіційно відбулась презентація масштабного проекту, метою якого було з’єднати два моря – Чорне та Балтійське. Очікування – будівництво автобану європейського класу, що зображений на рис. 1.1. До проекту входить не лише будівництво «цілої» траси зі Львова до Одеси, а створення 4-смужової дороги від Гданська до українських портів згідно європейських стандартів”[3]. Отже, будівництво автомагістралей в Україні розвивається активними темпами.

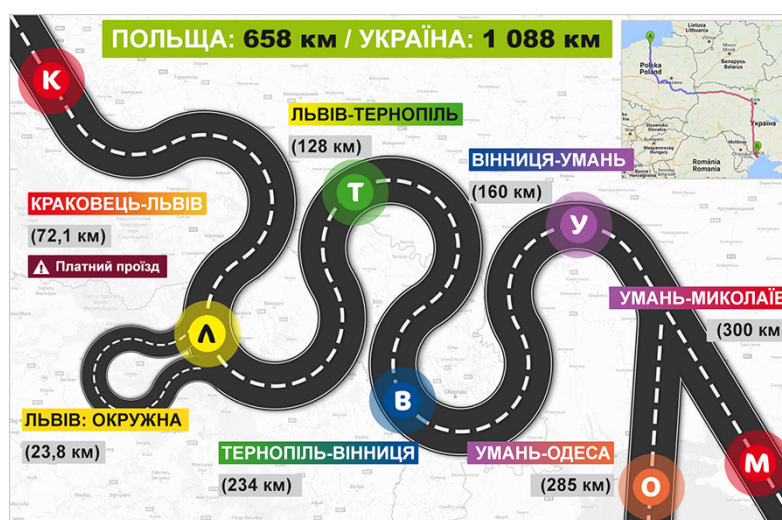


Рисунок 1.1– автомагістраль Гданськ-Одеса[3]

Автомобілі, що рухаються по магістралях із високою швидкістю, спричиняють значні коливання в навколишньому повітрі, при цьому енергія

передається у різні боки у вигляді локалізованої енергії вітру. Враховуючи велику кількість транспортних засобів, що рухаються у потоці, локалізована енергія вітру має значний потенціал.

У дослідженні [4] було змодельовано рух автомобіля по автомагістралі, що зображено на рис.1.2.

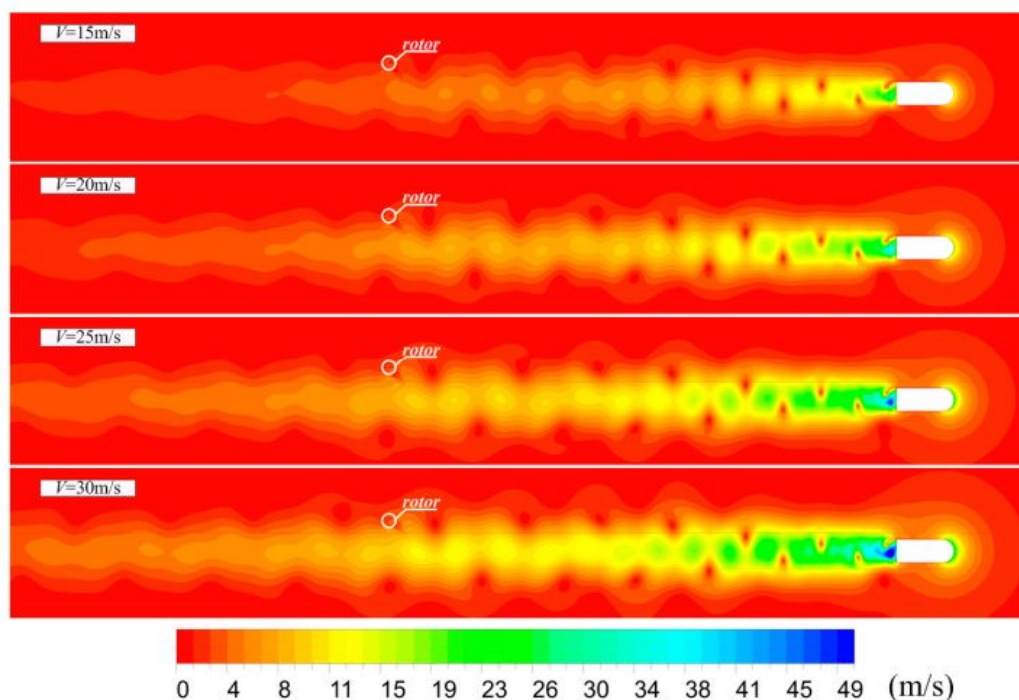


Рисунок 1.2 – Потоки вітру від автомобіля під час руху [4]

Було зроблено висновок, що швидкість потоку вітру достатньо для генерування електроенергії і подальше її використання.

Вітроенергетика має ряд переваг та потенціалів, які слід поділити на 3 сектори [5]:

а) стратегічні;

- 1) забезпечення електроенергією територій за рахунок місцевого вітру;
- 2) виконання міжнародних зобов'язань перед світовою спільнотою щодо скорочення викидів парникових газів;

3) відсутня потреба у використанні водних ресурсів;

б) економічні;

- 1) залучення інвестицій та нових технологій в національну економіку;
 - 2) створення нових робочих місць;
 - 3) стабілізація цін на електроенергію, відсутність цінових стрибків;
 - 4) вітер - енергетичний ресурс, за який не потрібно платити та воювати;
- в) екологічні;
- 1) екологічно чистий енергоресурс;
 - 2) збільшує тривалість життя людей.

На рис 1.3 можна розглянути кількість встановленої потужності та виробництво електроенергії в відсотках в Європі.

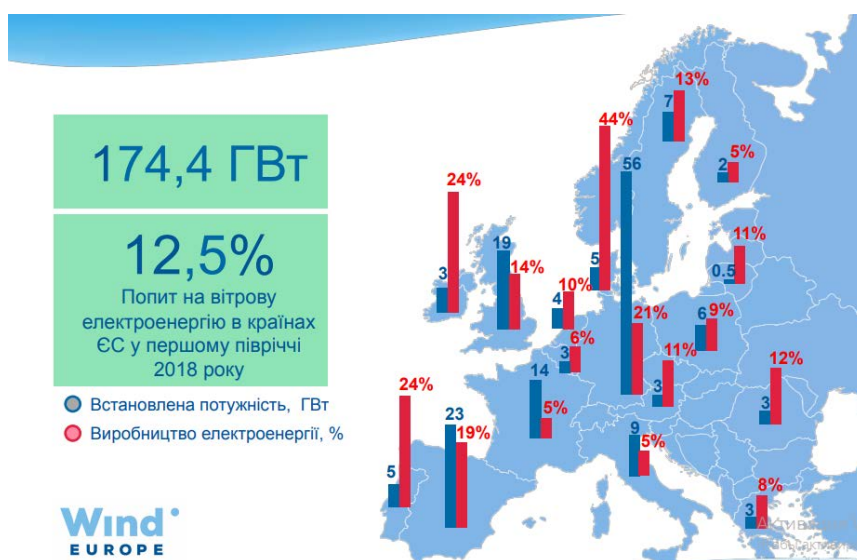


Рисунок 1.3 – Вітроенергетика Європи [5]

Найбільший потенціал виробництва електроенергії в ЄС – це вітер, що зображено на рис. 1.4.

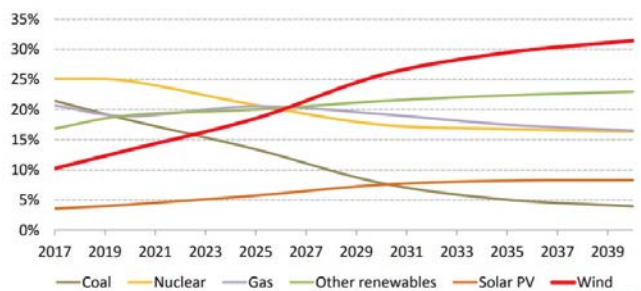


Рисунок 1.4 – Потенціал виробництва електроенергії в ЄС [5]

Потрібно розглянути глобальний сектор інвестицій в використанні відновлювальних джерел енергії, що зображено на рис. 1.5.

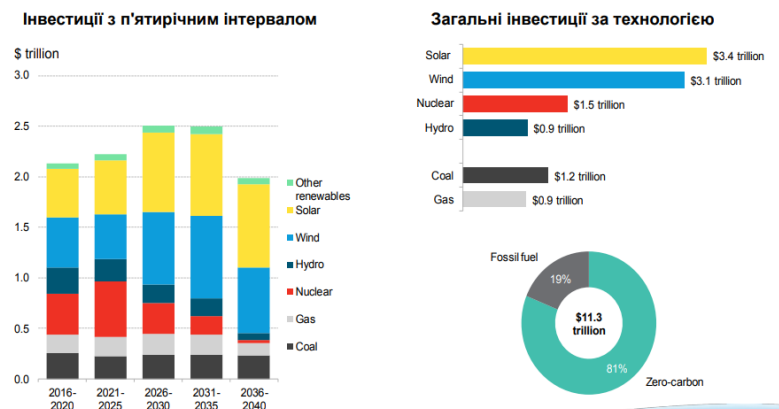


Рисунок 1.5 – Глобальні інвестиції в відновлювальні джерела енергії [6]

Отже, після розглянутих графіків, можна зробити висновок, що вітроенергетика розвивається і в Україні і в країнах Європейського Союзу. Потенціал отримання електроенергії із вітру найбільший з усіх існуючих методів отримання енергії. Інвестиції, що надходять в сектор вітроенергетики вражають кількістю коштів. Хоч вітроенергетика і отримає менше коштів чим сонячна енергетика, але інвестиції в кількості 3,1 тріліона доларів достатньо, щоб через певний проміжок часу повністю відмовитись від традиційних теплоелектростанцій та атомних електростанцій. Хоча вітроенергетика має декілька недоліків: необхідність території із необхідною потужністю вітру, тривала окупність установки, шкода для тварин та шумовий вплив. Потрібно вивчати це питання.

1.1.3 Вітрогенератори. Історія вітрогенераторів

Вітрогенератори за своїми конструктивними та функціональними характеристиками поділяються на три класи.[7]

До першого класу відносяться вітрогенератори, в яких вітрове колесо знаходиться у вертикальній площині, вісь обертання горизонтальна і паралельна напрямку вітру. Вітрогенераторам даного класу притаманні гарні аеродинамічні

властивості, за рахунок чого вони найпопулярніші у світі і виготовляються великих розмірів.[7]

Другий клас – це вітрогенератори із вертикальною віссю обертання.[7]

Третій клас – це так звані барабанні вітрогенератори, що працюють за принципом млинового колеса. У цих вітрогенераторів вісь обертання горизонтальна і перпендикулярна до потоку.[7]

На рис. 1.6 зображена класифікація вітрогенераторів [7]:

а) з горизонтальною віссю обертання: 1 – однолопатевий вітрогенератор; 2 – дволопатевий; 3 – трилопатевий; 4 – багатолопатевий; 5 – багатолопатевий велосипедного типу; 6 – барабанний; 7 – вітрогенератор, спрямований назустріч потоку; 8 – вітрогенератор, розташований назустріч потоку; 9 – вітрогенератор з пневматичною передачею потужності; 10 – вітрогенератор із вітрильним крилом; 11 – вітрогенератор з дифузorzом; 12 – вітрогенератор з концентратором енергії; 13 – багатовітрякове з кількома вітрогенераторами; 14 – вітрогенератор зустрічного обертання; 15 – ротор Савоніуса; 16 – вітрогенератор, що використовує енергію вільних вихрів;

б) з вертикальною віссю обертання з використанням сили опору: 1 – ротор Савоніуса; 2 – ротор Савоніуса багатолопатевий; 3 – ротор пластинчастий; 4 – ротор чашечковий;

в) з вертикальною віссю обертання з використанням підйомної сили: 1-ротор Дар'є; 2-ротор Дар'є Δ -подібний; 3 – ротор з прямими лопатями; 4-вітротурбіна;

г) з вертикальною віссю обертання комбінованого типу: 1 – ротори Дар'є \emptyset -образний та Савоніуса; 2 – ротор Савоніуса; 3 – ротор з використанням ефекту Магнуса; 4 – з несучими поверхнями;

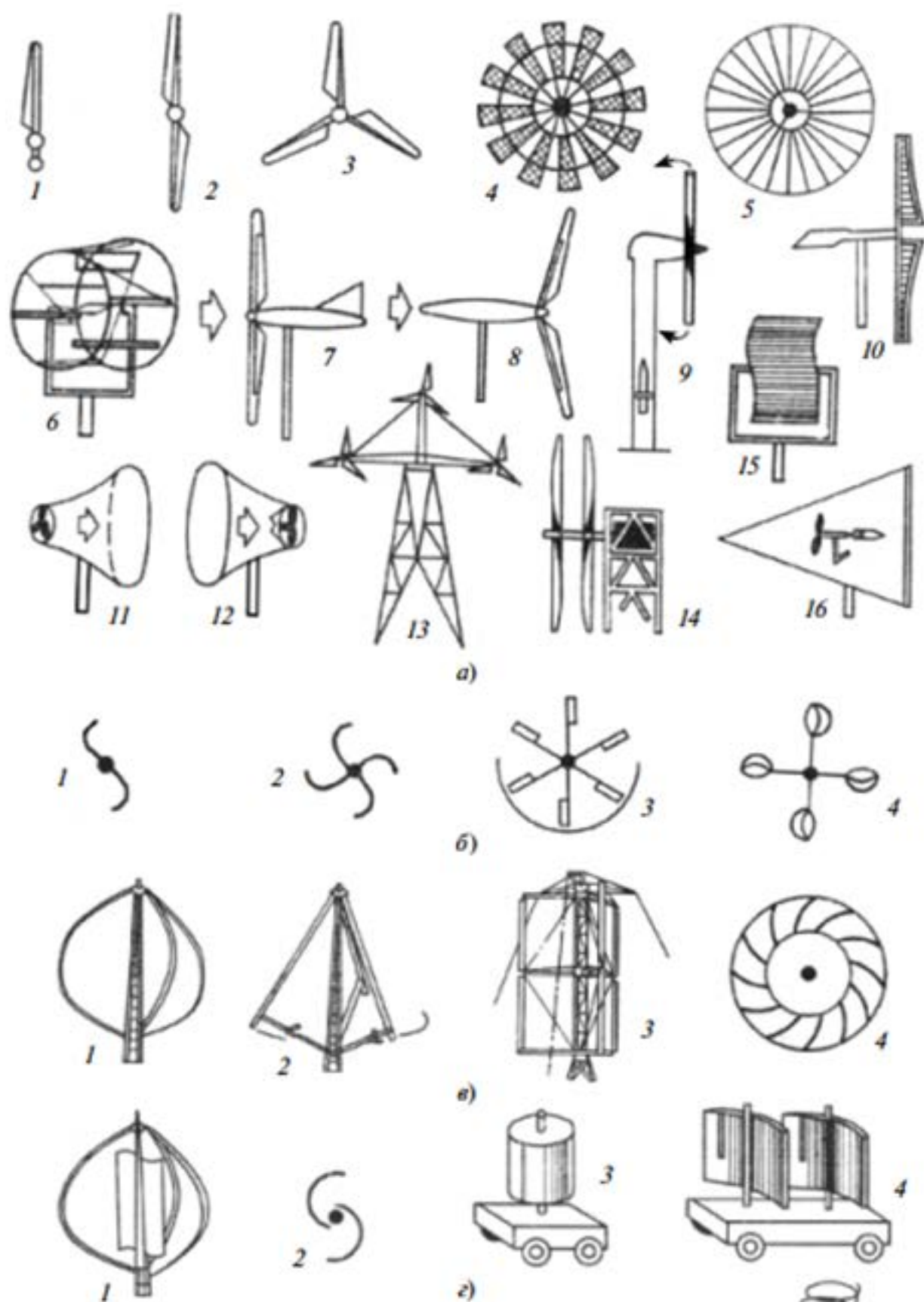


Рисунок 1.6 – Класифікація вітрогенераторів [7]

Перший у світі вітрогенератор для виробництва електроенергії, що зображений на рис. 1.7, був побудований в Шотландії і був розроблений для живлення освітлення в котеджі та для зарядки акумуляторів. Винахідник пропонував надлишки електроенергії, яку він згенерував, людям, що проживали поряд, але вони відмовили йому.[8]

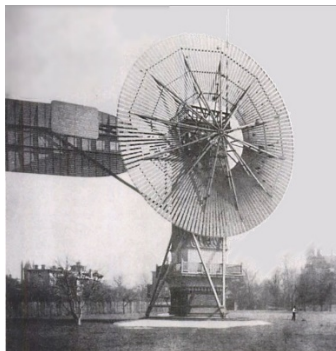


Рисунок 1.7 – Перший у світі вітрогенератор для отримання електроенергії [8]

До початку 1990-х років середній розмір вітрогенераторів був 300 кВт. На сьогоднішній день середня потужність комерційних вітрогенераторів становить 2 МВт. Найпотужніші вітрогенератори розроблені в США знаходяться в експериментальній стадії роботи і мають потужність 13,2 МВт.[9]

Вчені розробили проект найбільшого у світі вітрогенератора, зображеного на рис. 1.8 у порівнянні із іншими спорудами в світі. Він буде понад 500 метрів у висоту. Сьогодні середня висота вітрогенераторів становить 70 метрів а довжина однієї лопаті – 50 метрів. Цього вітрогенератора буде достатньо для живлення електроенергією 1100 будинків. [10]

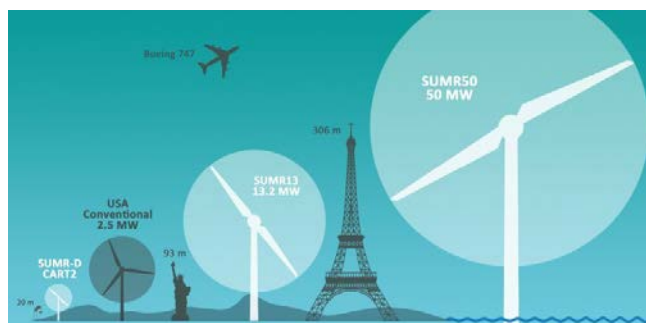


Рисунок 1.8 – Порівняння розмірів вітрогенераторів [10]

1.2 Інженерний і економічний аналіз вітрогенераторів для автомагістралей

1.2.1 Горизонтальні вітрогенератори. Переваги та недоліки

Великий відсоток технологій та удосконалень, які сьогодні є в вітроенергетиці, пов'язані із вітрогенераторами із горизонтальною віссю обертання вітрового колеса, як в сучасній водяній турбіні, де потік води паралельний осі обертання турбіни. Такий відсоток, тому що майже всі комерційні установки спроектовані за даним типом вітрогенератора.[11]

Переваги вітрогенераторів із горизонтальною віссю обертання:

- вища продуктивність на ефективність;
- змінна висота лопаток;
- можливість будувати вітрогенератори на високих башнях;
- швидша окупність в порівнянні із вертикальними вітрогенераторами.

Недоліки вітрогенераторів із горизонтальною віссю обертання:

- через великі габари вартість значно зростає через важкість транспортування усіх необхідних матеріалів;
- більш шумні в порівнні із вертикальними;
- більшість критикує даний тип вітрогенераторів через жахливий дизайн та естетику;
- сприйняття потоку вітру тільки із одного боку;
- небезпечний для птахів та комах.

1.2.2 Вертикальні вітрогенератори. Переваги та недоліки

Вертикальні вітрогенератори використовуються здебільшого в приватних ділянках, за рахунок своїх розмірів. В порівнянні із горизонтальними вітрогенеторами, даний тип малих і середніх розмірів.[11]

Основними теоретичними перевагами вітрогенератора із вертикальною віссю є:

- набагато нижча конструкція та габаритні розміри;
- можуть сприймати потоки вітру із різних сторін;
- кращів обслуговуванні за рахунок низької конструкції;
- починають працювати при малій швидкості вітру;
- в порівнянні із горизонтальними вітрогенераторам набагато тихіші;
- висока ефективність при генерування вітру із переривами;
- широкий спектр застосування;
- не заважає життю птахів та комах через низький шум та низьку конструкцію.

Недоліки:

- продуктивність нижча чим у вітрогенераторів із вертикальною віссю обертання;
- найпотужніші потоки вітру знаходяться на висоті, отже виникає потребу встановлювати їх у місцях, де постійно є потоки вітру, наприклад на автомагістралях.

1.2.3 Аналіз вертикальних вітрогенераторів Савоніуса та Дар'є

Найбільшою популярність в вітрогенераторів із вертикальною віссю обертання користуються два види роторів [12]:

- ротор Дар'є, що зображений на рис.1.9;
- ротор Савоніуса, що зображений на рис. 1.10.



Рисунок 1.9 – Ротор Дар'є [12]

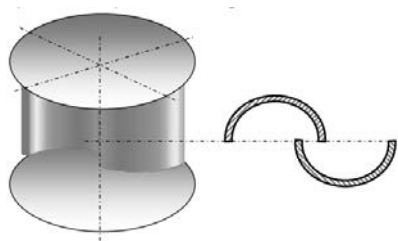


Рисунок 1.10 – Ротор Савоніуса [12]

Обертальний момент в роторі Дар'є створюється за рахунок підйомної сили. Ротор зазвичай складається із декількох лопатей, які в перерізі мають аеродинамічний профіль. Одним із головних недоліків даної конструкції є те, що вітрогенератор потрібно спочатку обертати за рахунок генератора або спеціального двигуна. Саме через цей фактор даний тип не користується великою популярністю у користувачів.[12]

Конструкція ротора Савоніуса відрізняється простою формою лопатей від свого конкурента. Обертальний момент в даному типі утворюється за рахунок різниці моментів опору, що створюються на увігнутих і опуклих лопатях. Даний тип конструкції вертикального вітрогенератора користується популярністю за рахунок простої конструкції і дешевизни під час виготовлення.[12]

1.3 Середовища моделювання

За приклад розглянемо програми, які здійснюють симуляцію повітряних потоків. Є чотири найпопулярніші програми: Autodesk Flow Design [13], Simscale [14], Solidworks Flow Simulation [15], Flowvision [16].

Розглянемо першу програму Autodesk Flow Design. Данна програма підтримує студентську безкоштовну версію на 3 роки. Це є одним із головних переваг даного продукту. Простий інтерфейс, зрозумілі налаштування допомагають користувачеві орієнтуватись в продукті та виконувати необхідні операції. Приклад інтерфейса зображений на рис. 1.11.

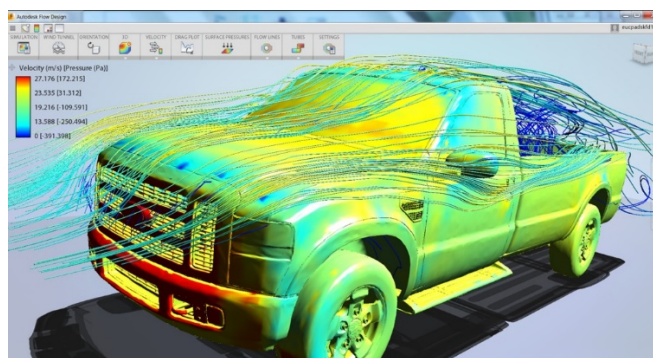


Рисунок 1.11 – Симуляція виконана в Autodesk Flow Design [17]

Simscale це програма, яка використовує хмарні технології. Одночасно недоліком і перевагою цього продукту є те, що зазначивши усі параметри, які вам потрібні – розрахунок проводиться в режимі офлайн на серверах компанії. Тобто ви вимикаєте комп'ютер, займаєтесь своїми справами і коли вам прийде лист на пошту, що симуляція завершена – перевіряєте виконання роботи. Інтерфейс даної програми складніший, чим у Autodesk Flow Design і в наявності є більш точні параметри, якщо вам такі потрібні. Приклад роботи зображений на рис. 1.12.

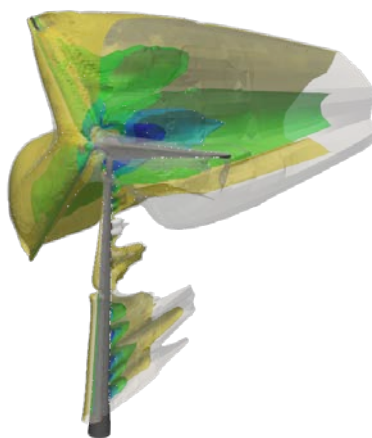


Рисунок 1.12 – Симуляція виконана в Simscale [18]

Solidworks Flow Simulation є платною програмою навіть для студентів, але саме цей продукт забезпечує користувача найбільшим спектром налаштувань і незрозумілим інтерфейсом. Цією програмою користуються фахівці різних галузей. Компанія завжди підтримує цю програму оновленнями і розвиває її в усіх напрямках. Приклад роботи в Solidworks зображений на рис. 1.13.

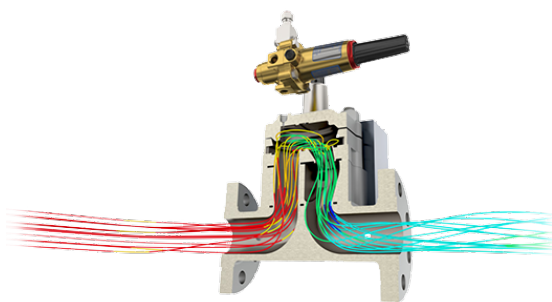


Рисунок 1.13 – Симуляція виконана в Solidworks Flow Simulation [19]

1.4 Пошук перспективних інженерних рішень вертикальних вітрогенераторів для автомагістралей

Для того, щоб знайти перспективні інженерні рішення вертикальних вітрогенераторів для автомагістралей потрібно дослідити розвиток ринку вітрогенераторів в провідних країн світу.

Китай знаходиться на першій позиції в списку лідерів на ринку вітроенергетики. Близько 10 років тому в Китаї спостерігалось стрімке зростання використання вітрогенераторів і з тих часів загальна потужність вітрогенераторів наближається до 80 ГВт. [12]

США знаходиться наступною, після Китаю, країною в рейтингу. На сьогоднішній день в країні виробляється близько 60 ГВт вітроенергетики. Темпи розвитку в цій сфері пояснюється тим, що політика країни дещо не співпадає із альтернативними джерелами енергії, що створюють певні перепони для винахідників, інвесторів та виробників. [12]

Німеччина – лідер у використанні вітроенергетики на європейському ринку. Загальна потужність досягає 30 ГВт. В порівнянні із США, уряд Німеччини сприяє усьому, щоб кількість альтернативних джерел збільшувалась по всій країні.[12]

На даний момент широко розвивається створення та проектування вітрогенераторів компактних розмірів із низьким рівнем шуму для міського використання, щоб зменшити потребу у транспортуванні електроенергії. Даний тип вітрогенераторів встановлюють де є хоча б найменший потік вітру: на дахах, в садах, між будівлями, на залізничних коліях та на автомагістралях. Вони виробляють небагато електроенергії, але завдяки невеликій ціні – їх можливо встановлювати у великій кількості. З 2012 року ринок малих вітрогенераторів виріс на 10 %. Головною їх перевагою є автономність, через те що вони розміщуються безпосередньо біля споживача.

Розглядаючи виробників компактних вітрогенераторів є різні варіанти конструкцій у провідних країнах світу, які стрімко розвиваються в цьому напрямку.

1.4.1 Передові інженерні рішення в галузі

На даний момент в світі вертикальні вітрогенератори використовуються малих або середніх розмірів. Це супроводжується тим, що горизонтальні показують більшу продуктивність за рахунок їх розмірів, але в свою чергу вертикальні вітрогенератори малих розмірів можливо використовувати у місцях, де потоки вітру є достатніми і можуть надходити із різних сторін.

Розглянемо один із вертикальних вітрогенераторів типу Савоніуса, який виготовляється у масовому виробництві – це Venger Wind V300 Ver1.3 [20], що зображений на рис.1.14.



Рисунок 1.14 – Venger Wind V300 Ver1.3 [20]

Цей вітрогенератор має приємний дизайн, але з приводу габаритних розмірів є певні обмеження. Так як ширина роздільної смуги на автомагістралях близька до 500 мм цей варіант нам не підходить. Але характеристики даного виробу вражають: максимальна потужність – 300 Вт, максимальна швидкість вітру – 50 м/с, строк придатності – 30 років.

Розглянемо також приклад вітрогенератора типу Савоніуса із закрученими лопатями, наприклад Helixwind S594 [21], що зображений на рис. 1.15.



Рисунок 1.15 – Helixwind S594 [21]

Helixwind S594 є комерційною моделлю вітрогенератора для застосування на будинках середнього та великого розміру. Продукт має висоту 5 метрів і півтора метра в діаметрі. Система використовує генератор постійних магнітів, який досягає номінальної потужності при 200 об / хв. Один із прикладів використання зображений на рис.1.16.

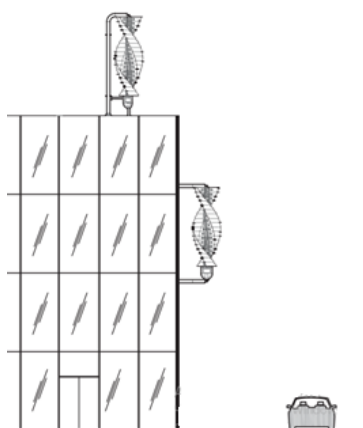


Рисунок 1.16 – Приклад використання Helixwind S594 [21]

Потрібно розглянути ще один вертикальний вітрогенератор. Особливістю даного продукту є його використання. Даний вітрогенератор застосовують на автошляхах в місті Стамбул. Enlil Devesi Tech зображений на рис. 1.17. [22]

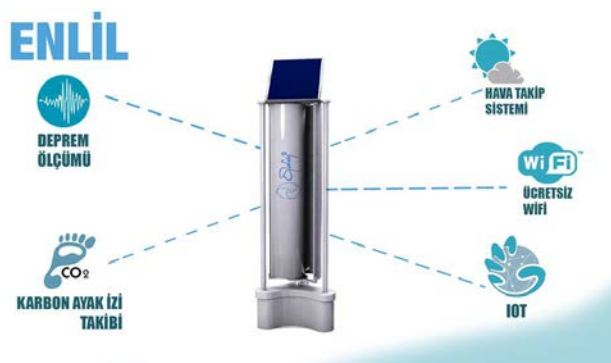


Рисунок 1.17 – Enlil Devinci Tech [22]

Вітрогенератор досі проходив випробування на великих дорогах Стамбула. Компанія Devinci Tech стверджує, що ENLIL може виробляти 1 кВт енергії на годину, що достатньо, щоб задовольнити енергетичні вимоги двох будинків. Пристрій також може проводити вимірювання якості повітря, вологості, CO₂ і навіть земних поштовхів. [22] Але головним мінусом даного вітрогенератора є його занадто висока ціна. Отже, потрібно розробити вітрогенератор, який коштував би помірну ціну.

1.4.2 Мозковий штурм пошуку технічного рішення

«Мозковий штурм – це спосіб вирішення питань, заснований на стимулюванні творчої активності групи учасників. Метою даного підходу є отримання максимально можливої кількості ідей від кожного з учасників групи з тим, щоб вирішити якусь проблему або знайти відповідь на актуальне питання. По закінченню штурму обирається найкраща ідея для її реалізації» [23]

Етапи та технологія мозкового штурму [23]:

– Етап перший. Формулювання поточного стану та цілей.

В першу чергу було сформульовано поточний стан, з якого необхідно знайти вихід. Поточний стан був на стані ідеї, інноваційної новизни. Також була сформульована проблема, яка повинна бути вирішена. Проблемою була конструкція вітрогенератора та приклади застосування його на автомагістралях. Була призначена людина, яка записувала всі ідеї на папері.

– Етап другий. Генерація ідей

До генерації ідеї були залучені студенти групи МІ-82мп, кафедри «Інтегровані технології машинобудування», Механіко-Машинобудівного Інституту, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Заохочували їх називати стільки ідей, скільки можливо. Учасники висловлювали свої пропозиції та ідеї, які записувались без будь-якого цензурування. Координатор мозкового штурму, а саме Пасічник Віталій Анатолійович припиняв будь-які спроби оцінок життєздатності згенерованих учасниками ідей, перш ніж сесія була закінчена.

– Етап третій. Аналіз

Коли відведений на мозковий штурм час закінчився, всі пропозиції були зібрані і в подальшому проаналізовані керівником проекту та студентами. Проаналізовані ідеї були поділені на 3 групи: можливі, важкоможливі, неможливі. Деякі із ідей зображені в табл. 1.2.

– Етап четвертий. Виконання

Як тільки наша група дійшла згоди і сформулювала остаточне рішення, розпочалось виконання проекту.

Таблиця 1.2 – Згенеровані ідеї під час мозкового штурму

Ідеї	Можливі	Важкоможливі	Неможливі
Використання для автозаправних станцій	+		
Використання для сповіщення про ДТП на автомагістралях	+		
Використання для підігріву дорожнього покриття в зимовий час		+	
Використання для освітлення автошляхів	+		
Генерування електроенергії від натиску на дорожнє покриття			+
Використання для світлофорів	+		
Встановлення вітрогенераторів в стічні канали			+
Встановлення реклами на вітрогенератор	+		
Встановлення вітрогенератора на відбійник		+	
Встановлення генератора під землею	+		
Генерування електроенергії від кульок, що встановлені на містках			+
Конструкція типу Савоніуса	+		

1.4.3 Прогноз стартап-проекту

Процес розробки стартап-проекту та впровадження його в ринок тієї чи іншої країни супроводжується виконанням певних етапів, в яких розробник аналізує ситуацію на ринку, організовує роботу команди і т.д. Ось наведені певні етапи розроблення стартап-проекту [24]:

- маркетинговий аналіз стартап-проекту. Під час цього етапу будемо: розробляти опис ідеї та способи використання автомобільного вітрогенератора із елементом пасивної безпеки і його відмінності із продуктами, які вже існують на ринку; аналізувати переваги та недоліки даної ідеї; розробляти стратегія впровадження продукту в ринок;

- організація стартап-проекту. Під час цього етапу будемо: прописувати етапи реалізації виготовлення автомагістрального вітрогенератора з елементом пасивної безпеки із конкретними термінами та строками; прораховувати потреба в нематеріальних активах, які потрібні для реалізації стартап-проекту; розраховувати початкові витрати для запуску проекту;

- фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту. Під час цього етапу будемо: розраховувати необхідний обсяг інвестицій в даний проект; розраховувати усі матеріальні показники проекту та визначати основні показники інвестиційної привабливості проекту; визначати основні ризики проекту та шляхи їх запобігання;

- заходи з комерціалізації проекту. Під час цього етапу будемо: розмірковувати, як виглядає типовий інвестор нашого проекту; створювати інвест-пропозиції для потенційних інвесторів; прораховувати, як будемо залучати інвесторів до стартап-проекту.

Для даного проекту обрано ринок збуту – Китай, провідні країни Європейського Союзу, та країни Північної Америки, тому що вони платеспроможні і зацікавлені у використанні нових технологій і ідей в альтернативних джерелах, що зображено на рис.1.18 [25].

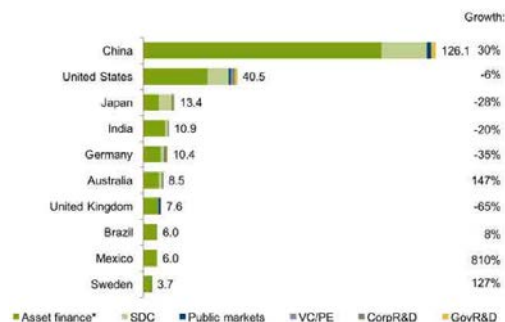


Рисунок 1.18 – Нові інвестиції в відновлювальну енергетику в топ-10 країнах, які активно розвиваються [25]

Вітроенергетика з кожним роком отримує все більше інвестицій через політику держав з приводу екологічного добування електроенергії. За результатами досліджень [26], що зображені на рис.1.19 можна спостерігати, що відсоток інвестицій в нові технології в вітроенергетику складає майже дві третини від загальних інвестицій в відновлювальні джерела енергії у порівнянні із 52% у 2017 році. Отже, ринок приділяє багато уваги саме сучасним альтернативним джерелам енергії.

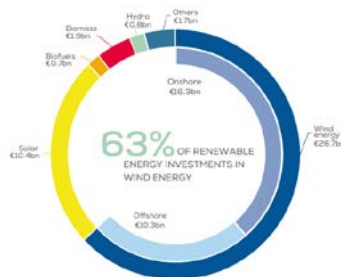


Рисунок 1.19 – Інвестиції у відновлювані джерела енергії у 2018 році [26]

Під час розробки стартап-проекту можливо виникнення певних труднощів, а саме: недостатність практичних навичок створення виробу, відсутність потрібного обладнання, помилки у технологічному процесі, недостатність коштів. Але відсутність великої конкуренції, інноваційна ідея та можливість удосконалення конструкції автомагістрального вітрогенератора із елементом пасивної безпеки і використання його в подальшому на швидкісних автомагістралях є сприятливими факторами для стартап-проекту.

1.5 Висновки по розділу

Отже, після вивчення ринку вертикальних вітрогенераторів малих розмірів провідних країн світу можна зробити висновок, що ринок зростає, конкурентів не багато, є можливість впровадження нових технологій. Серед конкурентів є декілька невирішених питань, а саме висока ціна, привабливий вигляд та поєднання вітрогенератора із елементом пасивної безпеки. Всі ці моменти сприяють створенню бізнесу, головною метою якого є створення конкурентноспроможних вітрогенераторів. Головним ринком для даних вітрогенераторів обрано Китай, країни Північної Америки та провідні країни Європейського Союзу через свою платеспроможність і зацікавленість в інноваційних ідеях в альтернативній енергетиці.

В даному розділі було розглянуто багато питань, що стосуються історії та різновидів конструкцій вітрогенераторів. Після вивчення типів конструкцій вітрогенераторів було вирішено працювати із вертикальним вітрогенератором, через свої суттєві переваги, під час використання на автомагістралі. Тип вертикального вітрогенератора обрано ротор Савоніуса через свою форму та дешевизну у виготовленні. Серед різних систем комп'ютерного моделювання обрано середовище Autodesk Flow Design [13] через свою безкоштовну студентську версію та зрозумілий інтерфейс. Проведено мозковий штурм для визначення сфер, в якій можливо використовувати автомагістральний вітрогенератор.

Для створення автомагістрального вітрогенератора, який задовільняє потреби користувача, потрібно вирішити декілька інженерно-конструктивних та інженерно-технологічних питань, які будуть розглянуті в наступних розділах, а саме: подати заявку на винахід(патент), виконати розрахунок основних технічних параметрів, виконати ескізний проект усієї установки вцілому, виконати розрахунок параметрів елементів вітрогенератора, виконати комп'ютерне моделювання динаміки потоків (CFD-аналіз) конструкції, створити конструкторську документацію проекту.

Після опрацювання матеріалу першого розділу було сформульовано декілька важливих моментів, а саме:

Мета дослідження. Удосконалення конструкції та технології виготовлення автомагістрального вітрогенератора із системою пасивної безпеки.

Задачі дослідження:

– огляд конструкції та історія розвитку вітрогенеруючої системи; Методика розрахунку ефективності вітрогенеруючої системи; Визначення програмного забезпечення для комп'ютерної симуляції.

– створення конструкторської документації вітрогенеруючої системи.

– створення технології виготовлення, створення прототипу вітрогенеруючої системи. Проведення фізичних випробувань вітрогенеруючої системи.

– створення стартап проекту для ринку.

Об'єкт дослідження. Процес пошуку технічного рішення конструкторсько-технологічного забезпечення автомагістрального вітрогенератора із пасивною системою безпеки.

Предмет дослідження. Параметри конструкції та технології виготовлення вітрогенеруючої системи.

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАГІСТРАЛЬНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА ІЗ ЕЛЕМЕНТОМ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ

2.1 Опис роботи

Запланована конструкція вітрогенератора повинна відповідати декільком вимогам та забезпечувати певні заплановані функції, а саме:

- модульність конструкції. Заплановано, що конструкція вітрогенератора повинна швидко з'єднуватись із конструкцією елемента пасивної безпеки. Це дозволить виконувати швидкий монтаж та ремонт на автомагістралі, якщо це необхідно;

- габаритні розміри вітрогенератора. Розміри вітрогенеруючої частини повинні відповідати розмірам роздільної смуги за ДСТУ 2735-94 [27];

- матеріали. Повинно обрати матеріали лопатей та головних елементів конструкції, які дозволили б знизити собівартість виробу, але технічні характеристики зберігались на високому рівні;

- форма лопатей. Потужність вітрогенератора значно залежить від обраної форми лопатей. Потрібно обрати таку форму, яка дозволить ефективно уловлювати потоки вітру;

- кількість лопатей. Кількість лопатей також суттєво впливає на ефективність роботи вітрогенеруючої установки. Потрібно визначити доцільну кількість для можливих габаритних розмірів;

- кількість ступенів вітрогенератора. Цей елемент конструкції незначно впливає на роботу вітрогенеруючої установки, але цей варіант розглянемо;

- використання допоміжних елементів. Вони дозволять збільшити ефективність вітрогенератора, але потрібно розглянути, чи можливо їх встановлення на автомагістралях.

Ці моменти важливо розрахувати як аналітично, так і за допомогою CFD-аналізу.

2.2 Технічне рішення автомагістрального вітрогенератора з елементами пасивної безпеки

2.2.1 Кінематична схема автомагістрального вітрогенератора з елементами пасивної безпеки

Після проведеної пошуковою роботою виникла ідея створення виробу що поєднує в собі декілька важливих функцій. А саме вітрогенеруюча установка для автомагістралі, що містить в своїй конструкції елемент пасивної безпеки, своєрідний відбійник, бар'єр, що поглинає значну енергію, яка виникає при ударі автомобіля.

Для початку потрібно побудувати кінематичну схему механізму, що зображена на рис.2.1. Винахід повинен містити такі головні елементи: ротор вітрогенератора з лопатями, прикріплений до осі; електричний генератор, з'єднаний з віссю і встановлений під дорожнім покриттям; бочкоподібний елемент безпеки з можливістю повертання навколо осі ротора; задля збільшення ефекту поглинання енергії зіткнення варто встановити гальма для збільшення зусилля повороту елемента безпеки; та бокові опори, що підтримують вісь установки; підшипники для зменшення втрат механічної енергії обертання.

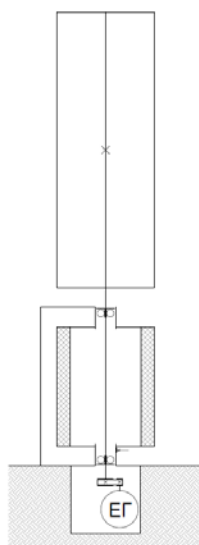


Рисунок 2.1 – Кінематична схема механізму

Кінематична схема побудована у відповідному масштабі, з урахуванням співвідношення елементів. За стандартами найбільша допустима ширина відбійника для розділової смуги становить 0,75м. [27]

Висота бар'єру з елементами безпеки обираємо з урахуванням параметрів автомобіля. Рівень капоту легкових автомобілів в середньому становить приблизно 1100 мм.

Загальну висоту виробу обираємо з урахуванням висоти вантажних автомобілів та позашляховиків близько 2000 мм.

2.2.2 Патентування винаходу

За даними технічними рішеннями було подано заявку на винахід «Вертикальний вітрогенератор для автомагістралей з елементами пасивної безпеки». Реєстраційний номер заявки: а 2019 06194.

Винахід являє собою систему генерування енергії на автомагістралях, що встановлена на довгому горизонтальному бар'єрі, на верхній частині якого розташований ряд вітрових турбін з електрогенераторами, яка відрізняється тим, що горизонтальний бар'єр виконаний у вигляді окремих бочкоподібних демпфуючих елементів пасивної безпеки, виконаних з можливістю обертання зі супротивом навколо осі вітрової турбіни.

Даний винахід належить до галузі енергетики, зокрема до вітроенергетичних систем з вертикальною віссю обертання вітроколеса. Ці системи призначені для перетворення енергії потоку вітру в електричну енергію.

Відома конструкція вітрогенератора, що включає ротор, вітроколесо, статор, опору, контролер, акумуляторну батарею, інвертор [28]. Конструкція містить щонайменше три траверси, розміщені в одній площині.

Недоліком даної конструкції є небезпека використання даної конструкції на автомагістралях, оскільки її особливості не передбачають захисту в разі зіткнення з автомобілем.

Відома конструкція [29] , що має таку конструктивну схему: вертикальний вал вітроенергетичної установки, вертикальний вал гідротурбіни, робочі лопаті ротора, гідротурбіну, основу шестерню передачі крутильного моменту електрогенератора, шестерню зачеплення, електрогенератор, верхню опору валу, розтяжки, водогін, нижню опору, додаткову опору, муфту.

Недоліком даної конструкції є недостатня міцність при ударі автомобіля, а в результаті й небезпеку використання на автомагістралях.

Найближчою до заявленого винаходу є конструкція [30], яка взята за прототип. Система генерування енергії на автомагістралях, що встановлена на довгому горизонтальному бар'єрі, на верхній частині якого розташований ряд вітрових турбін з електрогенераторами.

Недоліком даної конструкції є висока жорсткість горизонтального бар'єру, тому при зіткненні з автомобілем більша частина енергії деформації припадає на автомобіль. В результаті цього транспортний засіб зазнає значних пошкоджень, що збільшує небезпеку для водія та пасажирів.

Заявлена конструктивна схема, що зображена на рис. 2.1, не має недоліків, наведених вище. Вона складається з: вітрової турбіни 1 вітрогенератора, що жорстко закріплені на осі 2, що розміщений на одній осі з бочкоподібним демпфуючим елементом пасивної безпеки виконаним з можливістю обертання зі супротивом 3, для гасіння енергії зіткнення з автомобілем та має середню опору 4. Вісь вітрогенератора під'єднується до електрогенератора 5 муфтою 6. Вітрова турбіна підтримується верхньою опорою 7.

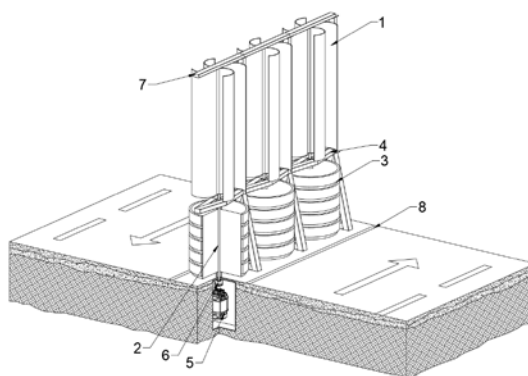


Рисунок 2.2 – Конструктивна схема винаходу

Дана конструкція призначена для розміщення на автошляхах та на розділовій смузі 8 або на узбіччі.

Вітрова турбіна призначена для вироблення електричної енергії від вітрових потоків на дорогах, що утворюються внаслідок руху автомобілів. Також дана конструкція може уловлювати природні вітрові потоки.

За допомогою бочкоподібного демпфуючого елемента пасивної безпеки виконаного з можливістю обертання зі супротивом навколо осі вітрової турбіни здатна гасити енергію зіткнення автомобіля зменшує шкоду зіткнення, підвищує рівень безпеки на автошляхах.

В штатному режимі система генерування енергії на автошляхах уловлює потоки повітря, що створюються транспортними засобами. При виникненні нештатної ситуації, коли транспортний засіб перетинає суцільну смугу і рухається під невеликим кутом до розділового бар'єру, транспортний засіб починає контактувати з бочкоподібним демпфуючим елементом пасивної безпеки, який починає деформуватись, поглинаючи тим самим частину енергії зіткнення, а також починає провертатись навколо осі вітрової турбіни, при цьому спротив обертанню цього елемента також відбирає частину енергії зіткнення. При подальшому русі транспортний засіб починає контактувати з наступними бочкоподібними демпфуючими елементами пасивної безпеки, кожен з яких гасить частину енергії зіткнення. При невеликих кутах контакту транспортного засобу з розділовим бар'єром та невеликих енергіях руху можлива ситуація виправлення траєкторії руху транспортного засобу і повернення його в смугу руху.

При збільшенні кута зіткнення транспортного засобу з розділовим бар'єром або при великих енергіях руху транспортного засобу після вичерпування можливості гасіння енергії бочкоподібними демпфуючими елементами пасивної безпеки, в тому числі за рахунок спротиву обертання, починається процес руйнування автомобіля і розділового бар'єру в степені, що визначається умовами зіткнення, але й у цьому випадку наслідки руйнування транспортного засобу будуть меншими через те, що частина енергії вже на цей момент погашена бочкоподібним демпфуючим елементом пасивної безпеки.

2.2.3 Ескізний проект автомагістрального вітрогенератора з елементами пасивної безпеки

Наступним етапом проектування є ескізний проект виробу. Ескізний проект будується для формування загального вигляду виробу та компоновки ідей.

“Ескізний проект – це проектна конструкторська документація, яка містить принципові конструктивні розв’язки, достатні, щоб отримати загальну уяву про конструкцію та принцип дії виробу, а також дані, що визначають його відповідність призначеності, основні параметри і габаритні розміри” [31].

Ескізний проект будемо, взявши за основу кінематичну схему. Спочатку побудуємо елемент пасивної безпеки, який має бочкоподібну форму. Його вісь підтримується бічними опорами, які закріплені в опорній поверхні, що зображені на рис. 2.3.

Наступне – ротор вітряної турбіни, розміщений співвісно з бочкоподібним елементом. Він також потребує підтримку опорами через значну довжину.

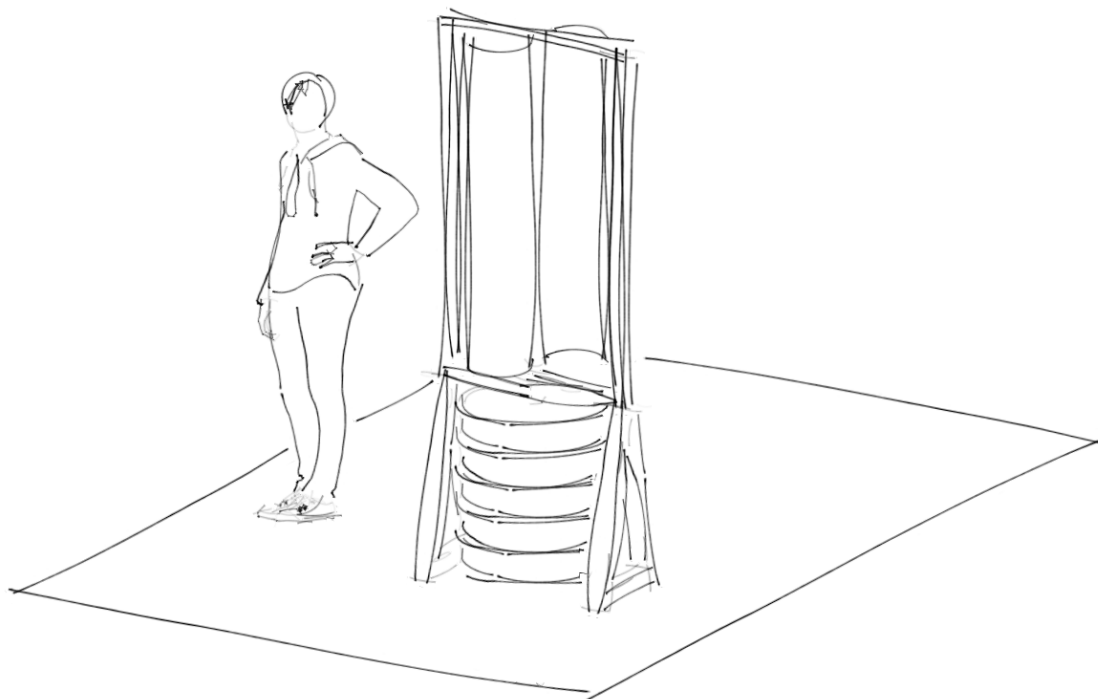


Рисунок 2.3 – Ескіз запропонованого винаходу

Дана конструкція повинна мати кріпильні елементи з обох боків, оскільки доцільніше використовувати даний винахід в масовому розміщенні, а тому і кріплення цілого ряду між собою має бути простим.

Наступним етапом ескізного проектування є розміщення запропонованого виробу у побуті. Запропонована конструкція передбачає встановлення даного виробу на автомагістралях, а саме на розділовій смузі або на узбіччі як альтернативу звичайному відбійнику, що зображено на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Розміщення на автомагістралі вітрогенератора з елементом пасивної безпеки

При виготовленні виробу можна обирати його колір, згідно з побажанням замовника. Однак варто використовувати кольори, які привертають увагу достатню для того, щоб водій відчував комфорт та безпеку водночас.

Також було розроблено концепцію розміщення даного продукту на мостах, що зображено на рис. 2.5. В даному випадку ряд розміщено на розділовій смузі, що дозволяє знизити можливість лобового зіткнення.

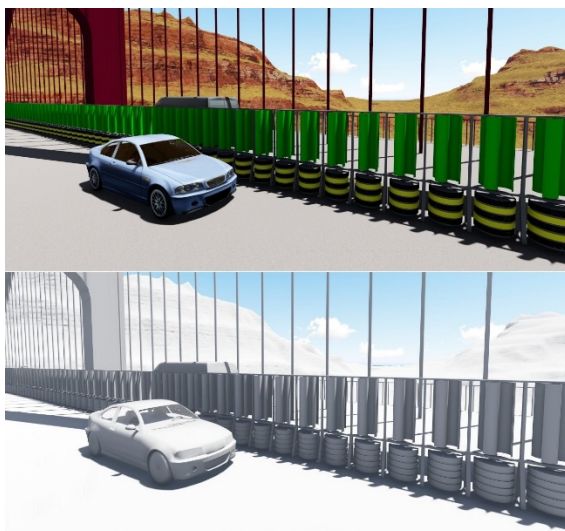


Рисунок 2.5 – Розміщення на мосту вітрогенератора з елементом пасивної безпеки

Як бачимо, функціонал автомагістрального вітрогенератора з елементом пасивної безпеки не обмежується лише звичайними автомобільними шляхами. З дизайнерської ж точки зору, дана конструкція не повинна мати поганий естетичний вигляд.

Наступним кроком буде ескізний проект вітрогенеруючої установки. Під час скетчінгу, розглядались різні можливі варіанти вертикальних вітрогенераторів, які із дизайнерської точки зору виглядають найкраще. Варіанти вертикальних вітрогенераторів зображено на рис.2.6. Для подальшої роботи обрано 2 варіант вітрогенератора

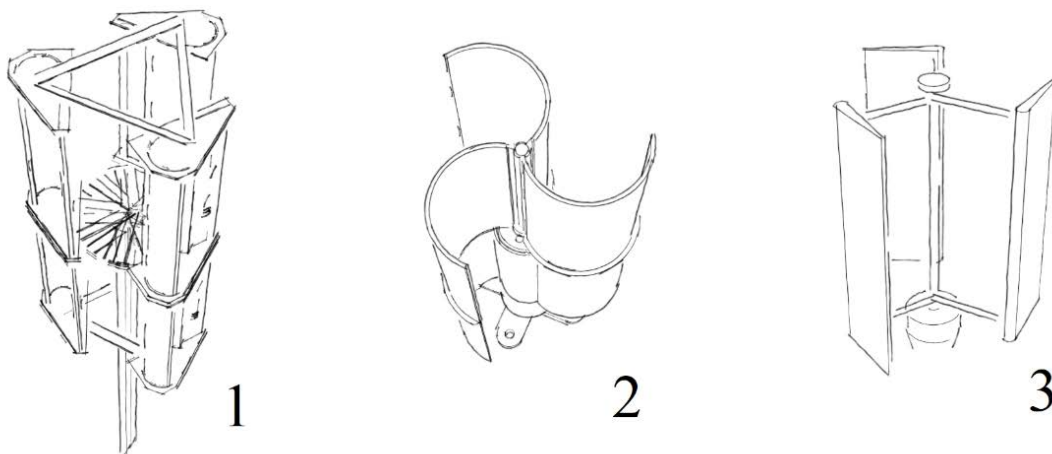


Рисунок 2.6 – Ескізи вітрогенеруючої установки

2.3 Аналітичні розрахунки елементів автомагістрального вітрогенератора з елементами пасивної безпеки

Завданням даного пункту є аналітичний розрахунок параметрів вертикального вітрогенератора, які впливають на конструкцію виробу. Даний вітрогенератор повинен добре працювати на автомагістралях, захоплюючи потоки вітру від автомобілів. Обрано вертикальний тип вітрогенераторів тому, що вони здатні захоплювати потік вітру у будь-якому напрямку, вони прості в монтажі, вони порівнянно дешеві та вони завдають набагато менше шкоди тваринам та комахам, оскільки лопаті рухається із помірною швидкістю.

Під час роботи над цим пунктом буде проаналізовано: кількість лопатей, форму перерізу лопатей, кількість ступенів роторної системи, наявність торцевих плит, спіральну форму лопатей, використання дефлекторів.

За основу розробки взято вітрогенератор типу Савоніуса. Принцип якого зображений на рис. 2.7.



Рисунок 2.7 – Принцип роботи вітрогенератора типу Савоніуса

2.3.1 Визначення кількості лопатей

Кількість лопастей суттєво впливає на потужність вітрогенератора. Якщо розглядати конструкцію типу Савоніуса найчастіше використовують дві, три та чотири лопаті. Для того, щоб зрозуміти, який варіант найкращий, потрібно спочатку провести аналітичний розрахунок для кожного варіанту конструкції.

Варіанти конструкції із двома, трьома та чотирьма лопатями зображено на рис. 2.8.

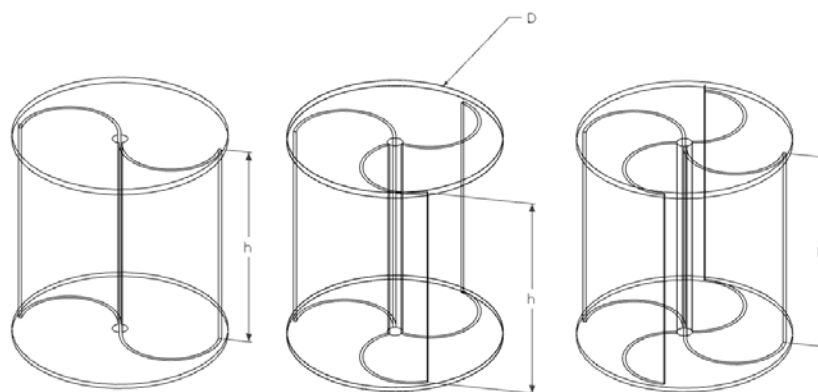


Рисунок 2.8 – Варіанти конструкцій із різною кількістю лопатей

Розрахунок проводився за методикою [32].

Співвідношення сторін є важливим фактором для оцінки аеродинамічних характеристик ротора типу Савоніуса:

$$A.R = H/D \quad (2.1)$$

де $A.R$ – співвідношення сторін,

H – висота ротора, м;

D – діаметр ротора. м.

Коефіцієнт швидкості λ визначається як відношення лінійної швидкості лопаті ротора ($\omega \cdot R$) до нерозподіленої швидкості вітру (V):

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V} \quad (2.2)$$

де λ – коефіцієнт швидкості;

ω – кутова швидкість, рад/с;

V – швидкість вітру, м/с

R – радіус ротора, м.

Для, 2-лопатевого ротора – $\lambda = 6 - 7$; 3-лопатевого ротора - $\lambda = 5 - 6$; 4-лопатевого ротора - $\lambda = 3 - 4$;[32]

Розрахунок для 2-лопатевого вітрогенератора

Як ми знаємо , в нас є фіксований діаметр та висота вітрогенератора:

$$D = 500 \text{ мм}, H = 1150 \text{ мм}$$

Кількість лопатей: $N = 2$;

Щільність повітря: $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$;

Коефіцієнт продуктивності: $(C_p) = 0,4$ (для 2 лопатей) [32];

Коефіцієнт швидкості $(\lambda) = 6$;

Середня швидкість руху автомобіля на автомагістралі:

$$(V_0) = 60 \text{ км / год} = 16,67 \text{ м / с.}$$

Розрахуємо співвідношення сторін даного вітрогенератора за формулою (2.1)

$$A. R = \frac{H}{D} = \frac{1150}{500} = 2,3$$

Для подальшого розрахунку потрібно порахувати площину розгортки ротора. Коли ротор обертається, його лопатки генерують уявну поверхню, проекція якої на вертикальній площині до напрямку вітру називається площею розгортки [33]. Кількість енергії, виробленої вітрогенератором, в першу чергу, залежить від площі ротора, яку також називають площею поперечного перерізу, площею розгортки або зоною перехоплення [33]. Площа розгортки вітрогенератора типу Савоніуса може бути розрахована з розмірів ротора, що зображено на рис. 2.9, за формулою 2.3.

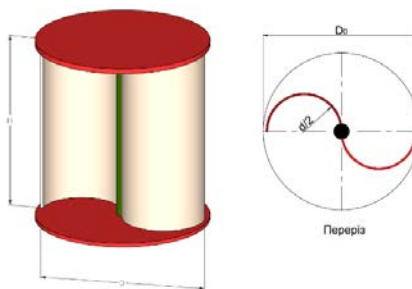


Рисунок 2.9 – Площа розгортки ротора

$$S = H \cdot D \quad (2.3)$$

$$S = H \cdot D = 0,575 \text{ м}^2$$

Із формули про коефіцієнт продуктивності (2.4) визначимо відносну потужність за формулою (2.5):

$$C_p = \frac{P_o}{P_w} \quad (2.4)$$

$$P_w = \frac{P_o}{C_p}$$

$$P_w = 0.5 \cdot \rho \cdot S \cdot V_o^3 \quad (2.5)$$

$$P_w = 0,5 \cdot 1,224 \cdot 0,575 \cdot 16,67^3 = 1630 \text{ Вт}$$

$$P_o = P_w \cdot C_p = 1630 \cdot 0,4 = 652 \text{ Вт}$$

Отже, потужність даного вітрогенератора складає 652 Вт.

Виконаємо розрахунки для 3-лопатевого та 4-лопатевого вітрогенератора.

Розрахунок для 3-лопатевого:

Кількість лопаток (N) = 3.

Коефіцієнт продуктивності (C_p) = 0,3 (для 3 лопатей).[32]

Коефіцієнт швидкості (λ) = 5.

Розрахуємо потужність за формулою (2.3):

$$P_o = P_w \cdot C_p = 1630 \cdot 0,3 = 489 \text{ Вт}$$

Отже, потужність даного вітрогенератора складає 489 Вт.

Розрахунок для 4-лопатевого:

Кількість лопаток (N) = 4.

Коефіцієнт продуктивності (C_p) = 0,2 (для 4 лопатей).[32]

Коефіцієнт швидкості (λ) = 3.

Розрахуємо потужність за формулою (2.3)

$$P_o = P_w \cdot C_p = 1630 \cdot 0,2 = 326 \text{ Вт}$$

Отже, потужність даного вітрогенератора складає 326 Вт

Зобразимо дані про розрахунки в табл 2.1

Таблиця 2.1 – Розрахунки потужності при різних кількості лопатей

Кількість лопаток	Висота	Діаметр	Потужність
2 лопатки	1150	500	652
3 лопатки			489
4 лопатки			326

Отже, із таблиці видно, що найкращим варіантом виявився двохлопатеви́й ротор.

Для достовірної інформації потрібно розрахувати крутний момент для різної кількості лопатей. Продуктивність вітрогенератора типу Савоніуса можна пояснити відповідно до наступних трьох основних правил, які досі застосовуються [34]:

- швидкість кінцевих точок лопаті ідеально пропорційна швидкості вітру;
- максимальний крутний момент пропорційний швидкості квадрату вітру;
- максимальна потужність пропорційна швидкості вітру в кубі.

Продуктивність будь-якого вітрогенератора може бути виражена у вигляді коефіцієнта крутного моменту (C_t) і коефіцієнта продуктивності (C_p) у порівнянні з коефіцієнтом швидкості кінцевої точки лопаті.

Співвідношення сторін A.R. за формулою (2.1) та коефіцієнт швидкості нам вже відомі [32].

Коефіцієнт крутного моменту (C_t):

Він визначається як відношення між фактичним моментом, що розвивається ротором (T), і теоретичним моментом, доступним на вітрі (T_w). [35] , таким чином, коефіцієнт крутного моменту (C_t) задається за формулою:

$$C_t = \frac{T}{T_w} = \frac{T}{\frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A_s \cdot d \cdot V^2} \quad (2.6)$$

де T – обертальний момент ротора, $H \cdot m$;

T_w – наявний обертальний момент, $H \cdot m$;

ρ – щільність повітря, kg / m^3 .

Іншою концепцією, яка може використовуватися для вимірювання продуктивності вітрових турбін, є статичний крутний момент (T_s), який вимірює можливість запуску турбіни. Статичний момент визначається як максимальне значення крутного моменту, коли ротор заблокований, тобто без здатності обертатися [36] Отже, статичний коефіцієнт крутного моменту задається за формулою (2.7):

$$C_{ts} = \frac{T_s}{T_w} = \frac{T_s}{\frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A_s \cdot d \cdot V^2} \quad (2.7)$$

де C_{ts} – коефіцієнт статичного крутного моменту;

T_s – статичний обертальний момент ротора, $H \cdot m$.

Схема для двохлопатевого та трьохлопатевого варіанта конструкції зображена на рис.2.10.

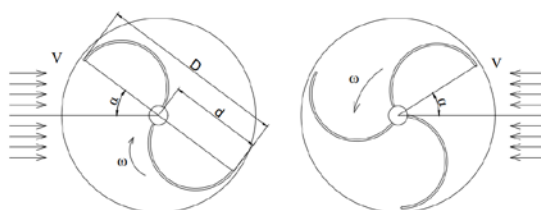


Рисунок 2.10 – Схема роботи двохлопатевого та трьохлопатевого вітрогенератора

Крутний момент визначається як сила, що діє тангенціально на лопать ротора, що діє на відстані радіуса (d) ротора від центру, вона задається за формулою (2.8):

$$T = I \cdot \alpha \quad (2.8)$$

де I — момент інерції ротора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;
 α — кутове прискорення ротора, $\text{рад}/\text{с}^2$.

Момент інерції означає скільки енергії потрібно для прискорення валу до певної швидкості [37] і визначається за формулою (2.9):

$$dI = r^2 \cdot dm \quad (2.9)$$

Розрахункова схема моменту інерції для напівкруглої форми лопатів вітрогенератора типу Савоніуса зображена на рис. 2.11.

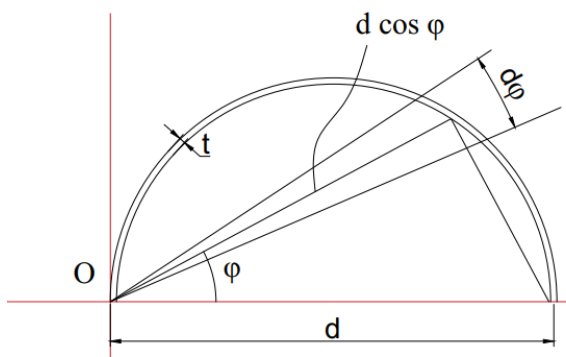


Рисунок 2.11 – Розрахункова схема моменту інерції для напівкруглої форми лопаті

Розглянувши рис.2.11, момент інерції для напівкруглої форми лопаті можна обчислити за рівнянням (2.10):

$$I_b = \int r^2 \cdot dm \quad (2.10)$$

де dm — нескінченно малий елемент маси, що визначається за формулою (2.11)

$$dm = \rho \cdot H \cdot t \cdot d \cdot \cos\phi \, d\phi \quad (2.11)$$

де t — товщина лопаті, м;

r — радіус (відстань від нескінченно малого елемента маси до початку, що визначається за формулою (2.12)):

$$r = d \cdot \cos\phi \quad (2.12)$$

Тоді момент інерції для однієї лопаті (I_{1b}) буде дорівнювати:

$$I_{1b} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \rho \cdot H \cdot t \cdot d^3 \cdot \cos^3\phi \, d\phi = \rho \cdot H \cdot t \cdot d^3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^3\phi \, d\phi$$

$$I_{1b} = \frac{2}{\pi} \cdot m \cdot d^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^3\phi \, d\phi = \frac{4}{3\pi} \cdot m \cdot d^2$$

де m — маса лопаті, м, що розраховується за формулою (2.13):

$$m = \frac{\pi}{2} \cdot \rho \cdot H \cdot t \cdot d \quad (2.13)$$

Із [38] визначаємо товщину лопаті $t = 9.6$ мм

Таким чином, момент інерції для двох, трьох та чотирьох лопатей вітрогенератора типу Савоніуса дорівнює:

$$m = \frac{\pi}{2} \cdot \rho \cdot H \cdot t \cdot d = \frac{\pi}{2} \cdot 1,225 \cdot 1,15 \cdot 0,0096 \cdot 0,25 = 0,00531 \text{ кг}$$

$$I_{2b} = \frac{8}{3\pi} \cdot m \cdot d^2 = \frac{8}{3\pi} \cdot 0,00531 \cdot 0,25^2 = 0,00028125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$I_{3b} = \frac{4}{\pi} \cdot m \cdot d^2 = \frac{4}{\pi} \cdot 0,00531 \cdot 0,25^2 = 0,0004225 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$I_{4b} = \frac{16}{3\pi} \cdot m \cdot d^2 = \frac{16}{3\pi} \cdot 0,00531 \cdot 0,25^2 = 0,0005634 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

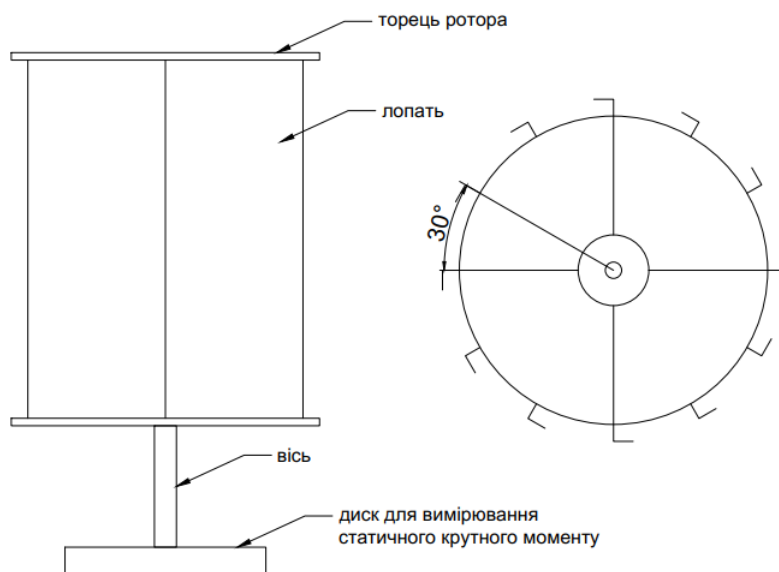


Рисунок 2.12 – Схематичний рисунок напівкруглої форми для розрахунку моменту інерції

Розглядаючи рис. 2.12, можна зробити висновок, що сумарний момент інерції вітрогенератора типу Савоніуса буде розраховуватись за формулою (2.14):

$$I = I_b + 2I_p + I_s + I_d \quad (2.14)$$

де I_b – момент інерції двох, трьох та чотирьох лопатей, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

I_p – момент інерції торцевих плит, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

I_s – момент інерції вала або вісі, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

I_d – момент інерції динамометричного диска.

Кутове прискорення визначається за формулою (2.15) [37]:

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\tau} \quad (2.15)$$

де τ – час, с;

ω_1 – початкова кутова швидкість, рад/с;

ω_2 – кінцева кутова швидкість, рад/с.

Отже, за розрахунками моментів інерції робимо висновок, що найкращий варіант із двох-лопатевою конструкцією.

2.3.2 Визначення форми перерізу лопастей

Принцип дії роботи вітрогенератора типу Савоніуса полягає в різниці в перетягуванні між опуклими і увігнутими частинами лопаті. Основні параметри, що визначають криву лопаті вітрогенератора типу Савоніуса, представлені на рис. 2.13.

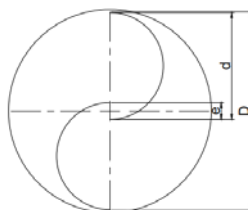


Рисунок 2.13 – Геометричні параметри лопаті

Численні дослідження були проведені на кривій лопаті цих роторів з метою зменшення коефіцієнта опору під час руху проти вітру і збільшення його при русі за напрямком вітру. Савоніус запропонував поліноміальну криву четвертого порядку, яка є наступною зображена в рівнянні (2.16) [39]:

$$\frac{y}{D} = -3.4868 \left(\frac{x}{D}\right)^4 + 8.1507 \left(\frac{x}{D}\right)^3 - 7.5605 \left(\frac{x}{D}\right)^2 + 2.8507 \left(\frac{x}{D}\right) + 0.040493 \quad (2.16)$$

У дослідженні [40] випробування проводилися в аеродинамічній трубці на роторах типу Савоніуса із шістьма різними формами лопатей. Досліджувані лопаті зображені на рис.2.14.

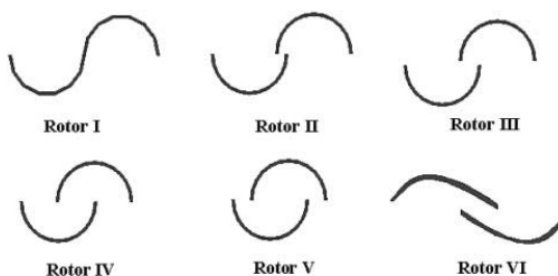


Рисунок 2.14 – Досліджувані лопаті [40]

Всі випробування проводилися в однакових умовах при швидкості вітру від 8 до 14 м/с.

Значення загальних коефіцієнтів потужності наведено на рис. 2.15.

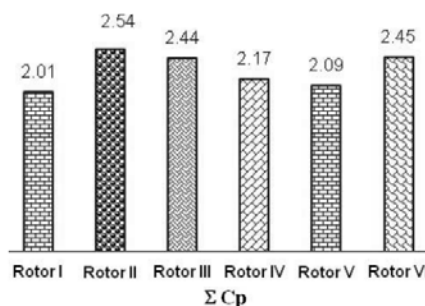


Рисунок 2.15 – Експериментальні загальні коефіцієнти потужності різних роторів (I – VI) [40]

Зазначимо, що ротор II має найкращу продуктивність при різних співвідношеннях частоти обертання. Ротори III і VI також мають прийнятні характеристики. Отже, для подальшої роботи, обираємо варіант II вітрогенератора типу Савоніуса.

2.3.3 Кількість ступенів роторної системи

Кількість ступенів або модулів вітрогенератора впливає на аеродинамічні властивості конструкції, на міцність конструкції та надійність. Потрібно визначити, який із варіантів, що зображені на рис.2.16, найкращий для нашої конструкції вітрогенератора типу Савоніуса.

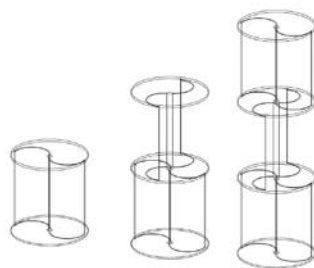


Рисунок 2.16 – Варіанти вітрогенераторів із різною кількістю модулів

У дослідженнях [41], [42] і [43] було виявлено, що найкращий варіант, який дозволяє отримати оптимальну потужність є варіант із двома модулями. Графік із значеннями потужності різних конфігурацій зображений на рис. 2.17.

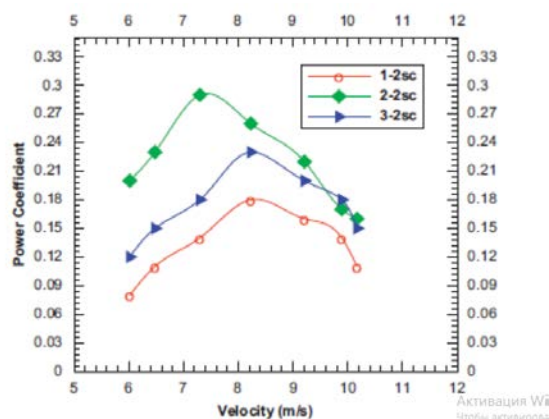


Рисунок 2.17 – Коефіцієнт потужності для різних конфігурацій [41]

Отже, для подальшої роботи, обираємо варіант вітрогенератора типу Савоніуса із двома модулями.

2.3.4 Торцеві плити

Торцеві плити на перший погляд не відіграють важливу роль в конструкції вітрогенератора, але це не так. Ширина плити, діаметр плити та взагалі наявність плити – важливі аспекти під час конструювання вітрогенератора.

Деякі приклади торцевих плит з різними розмірами зображені на рис. 2.18.

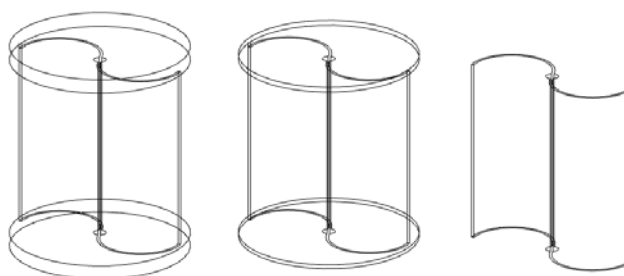


Рисунок 2.18 – Приклади вітрогенераторів із торцевими плитами

За дослідженнями [44], [42], [45] можна зробити висновок, що наявність торцевої плити покращує аеродинамічні властивості. Із графіка, що зображений на рис.2.19 видно, як змінюється потужність від використання торцевих плит. Більше того, за даними [46] торцеві пластини мають також конструкторське призначення, оскільки вони зміцнюють конструкцію вітрогенеруючої установки.

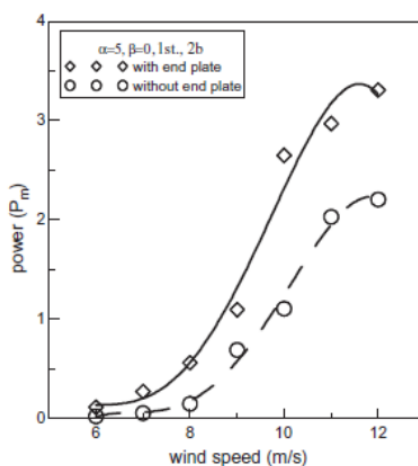


Рисунок 2.19 – Потужність вітрогенераторів з та без торцевих плит [44]

2.3.5 Спіральні лопаті

Форма лопатей даного типу має заручені дві лопаті, інколи три лопаті. За рахунок цієї форми вздовж усієї висоти переріз лопастей однаковий. Даний тип вітрогенератора зображений на рис.2.20.



Рисунок 2.20 – Вітрогенератор типу Савоніуса із спіральними лопатями

Із досліджень [41] та [47] видно, що ротори даного типу мають вищі значення коефіцієнту потужності та крутного моменту. Цікаво, що за дослідженнями [48] та [49] ідеальна форма із закрученими лопатями на $12,5^\circ$. На рис. 2.21 зображений графік ефективності різних форм лопатей. Також зазначається, що, як вже було сказано раніше, ротор із двома модулями більш ефективний, ніж ротори з одним і трьома ступенями. Для подальшої роботи було б доцільно використовувати даний тип лопатей, але через труднощі під час виготовлення даний тип вітрогенератора в подальшому не розглядаємо.

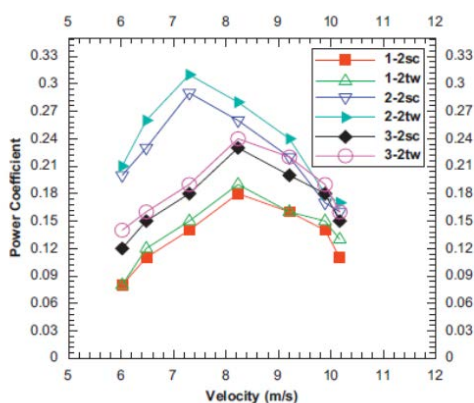


Рисунок 2.21 – Коефіцієнт потужності для двохлопатевого вітрогенератора типу Савоніуса із спіральними та звичайними лопатями [41]

2.3.6 Визначення параметрів дефлекторів

Для покращення ефективності вітрогенератора можливе використання дефлекторів або напрямні для потоків вітру.

Потрібно дослідити вплив дефлекторів на продуктивність вітрогенераторів типу Савоніуса. У дослідженні [50] конструкція дефлектора була спроектована і розміщена перед ротором таким чином, щоб запобігти негативному крутному моменту, що виникає на опуклій поверхні ротора, тим самим викликаючи низьку продуктивність ротора. Із покращенням їх низької продуктивності, очікується, що вітрогенератори типу Савоніуса можуть використовуватися на узбіччях автомагістралей, оскільки вони вже мають ряд переваг, таких як прості і дешеві

конструкції, хороший початковий крутний момент при низьких швидкостях вітру. Таким чином, вітрогенератори типу Савоніуса матимуть широкий діапазон використання на автомагістралях. Тобто, це підвищення продуктивності вітрогенераторів типу Савоніуса буде набагато важливішим засобом для вирішення енергетичної проблеми на автошляхах.

У дослідженнях [51] та [52] була висунута нова конструкція з метою підвищення продуктивності ротора Савоніуса без будь-яких змін у його основній структурі. Щоб збільшити коефіцієнти продуктивності і вплив швидкості вітру, перед ротором розміщено дефлектор, що зображений на рис. 2.22, що дозволяє запобігти негативному моменту, який утворюється в несприятливому напрямку обертання ротора [50]. Дефлектор це пластина, яка є простою і дешевою, оскільки складається з плоских металевих листів.

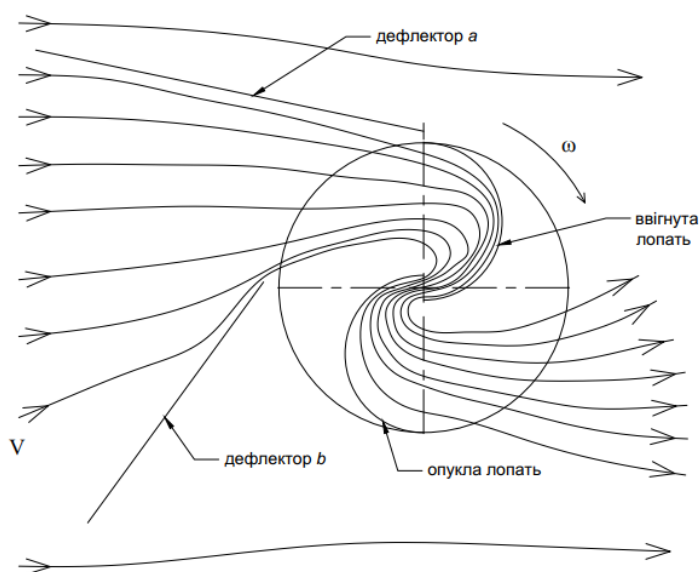


Рисунок 2.22 – Використання дефлектора

Отже, завдяки такій конструкції можливо концентрувати потік вітру, що надходить від автомобіля під час руху, в одному напрямку. За дослідженнями, ефективність вітрогенератора можливо збільшити до 2 разів. Дану конструкцію обрано для встановлення на узбіччях автомагістралей, з правого боку від руху автомобілів.

2.4 CFD-аналіз

2.4.1 CFD –аналіз конструкцій із різною кількістю лопатей

Для подальшого моделювання візьмемо змодельовані моделі 2-ох, 3-ох та 4-ох лопатевих вітрогенераторів в системі Autodesk Inventor 2019. Проводити CFD-аналіз будемо в програмі Autodesk Flow Design.

Для коректної роботи потрібно зберегти наші моделі в форматі STL.

Задамо параметри в програмі Autodesk Flow Design, які нам необхідні для отримання результатів. На рис. 2.23 зображено налаштування симуляції. У відсотках потрібно поставити цифру більшу за 100% але меншу за 200% для комфортної роботи.

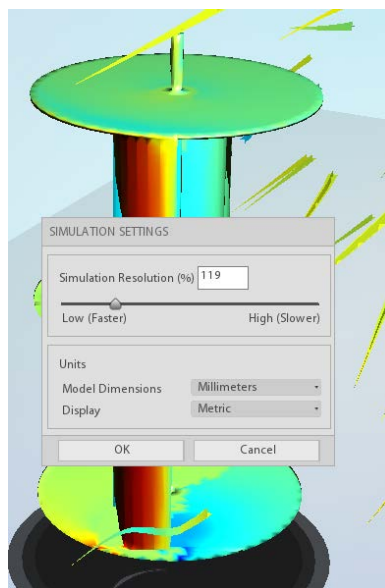


Рисунок 2.23 – Налаштування симуляції

Потім перейдемо до налаштування повітряного потоку, що зображені на рис. 2.24. В даному вікні зазначаємо швидкість потоку та розміри повітряного тунелю.

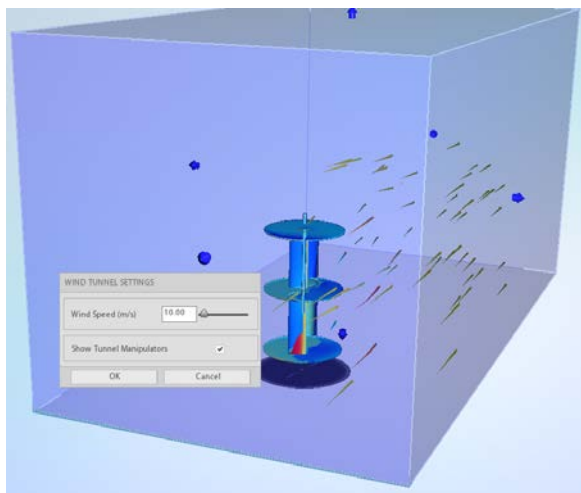


Рисунок 2.24 – Налаштування повітряного потоку

В наступному етапі налаштувань, потрібно вказати необхідну орієнтацію вітрогенератора, що зображена на рисунку 2.25. Для кожного вітрогенератора буде обрано 3 орієнтації.

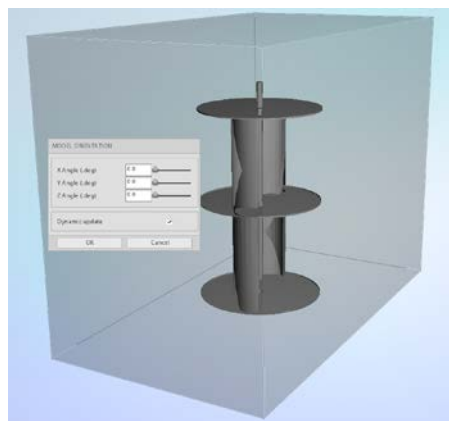


Рисунок 2.25 – Налаштування орієнтації

Наступним кроком буде обрати тип симуляції. Види налаштувань зображені на рис. 2.26

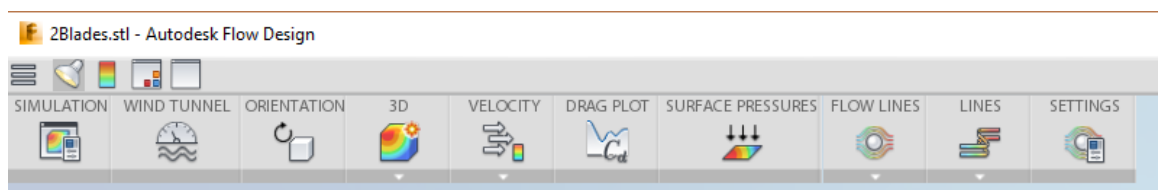


Рисунок 2.26 – Види налаштувань

Обираємо вид налаштувань 3D, Velocity, Drag Plot не вмикаємо, surface pressures вмикаємо, так як це нас цікавить найбільше. Flow lines та Lines – це найкращий тип візуалізації повітряних потоків,

В розділі Settings, що зображений на рис. 2.27 обираємо вказані налаштування. Після того як всі налаштування вказані переходимо безпосередньо до CFD-аналізу 2-ох, 3-ох та 4-ох лопатевих вітрогенераторів.

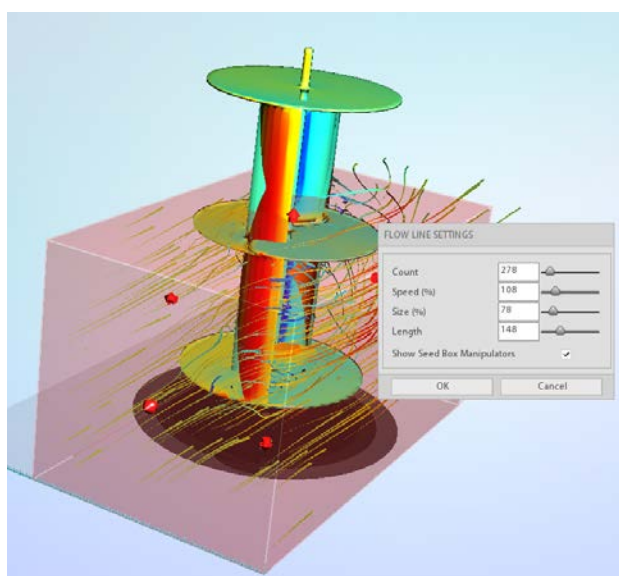
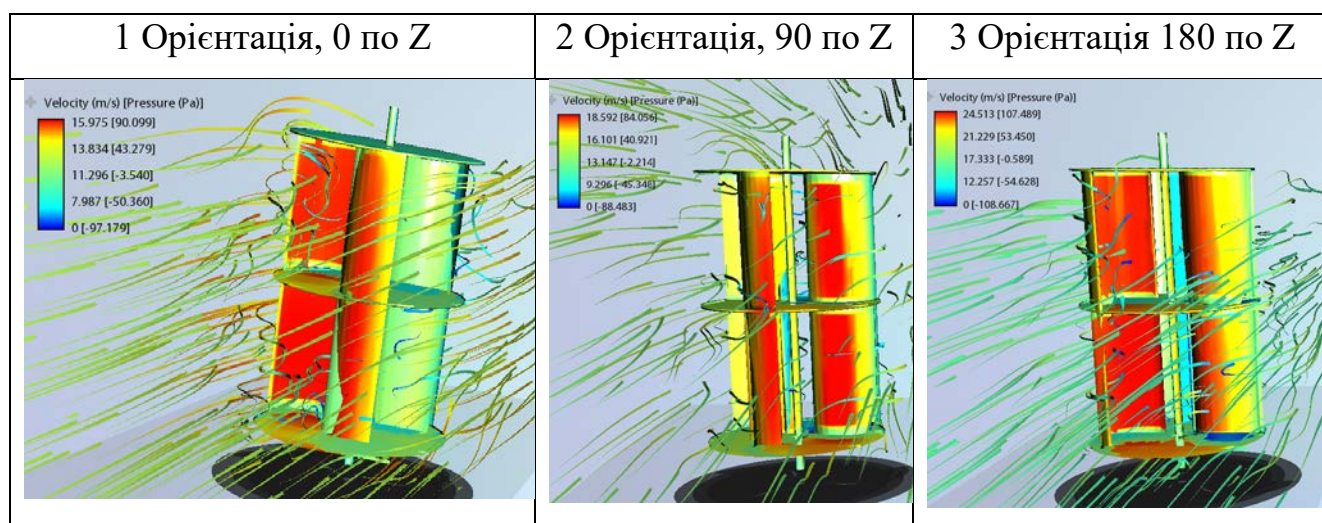


Рисунок 2.27 – Кінцеві налаштування.

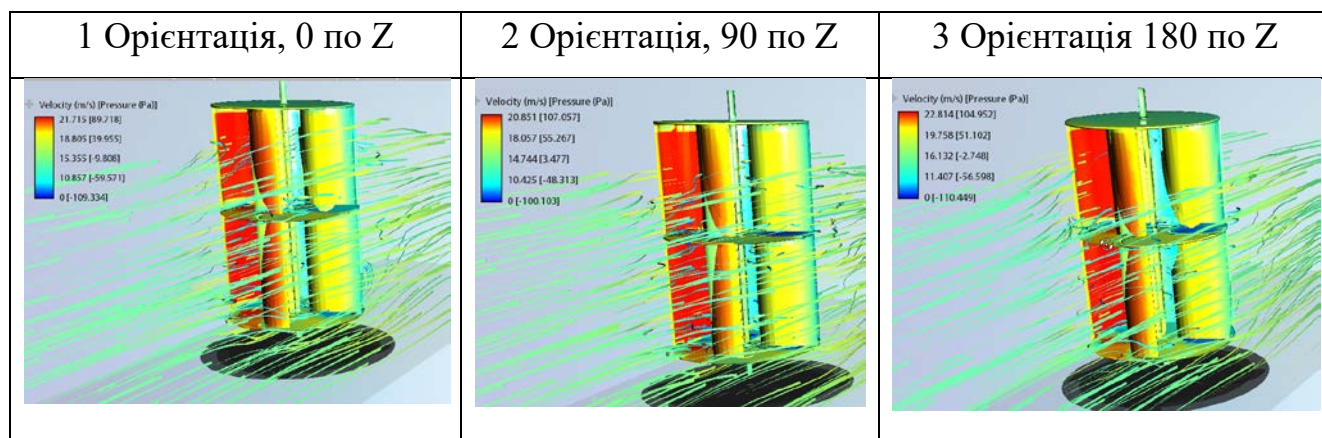
Таблиця 2.2 – Напруження для 2-ох лопатєвого вітрогенератора

1 Орієнтація, 0 по Z	2 Орієнтація, 90 по Z	3 Орієнтація 180 по Z

Таблиця 2.3 – Напруження для 3-ох лопатевого вітрогенератора



Таблиця 2.4 – Напруження для 4-ох лопатевого вітрогенератора



Із табл. 2.2, 2.3, 2.4 можна зробити висновок, що найбільші напруження виникають при 2-ох лопатевому вітрогенераторі. Отже, з боку аеродинаміки та ефективності найкращим є вітрогенератор із двома лопатями.

2.4.2 CFD – аналіз конструкцій із різною кількістю ступенів

Аналітично залежність продуктивності від кількості ступенів уже розглядалась, для розгляду ефективності конструкції потрібно розглянути їх у програмі Autodesk Flow Design. Налаштування програми подібні, як і в розділі 2.4.1

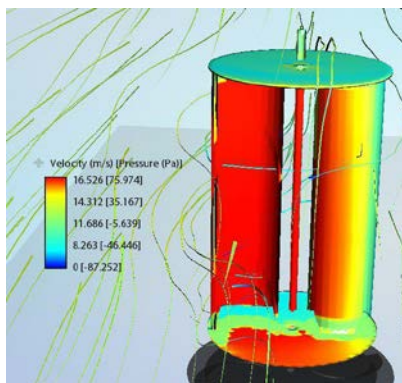


Рисунок 2.28 – CFD – аналіз конструкції із одним ступенем

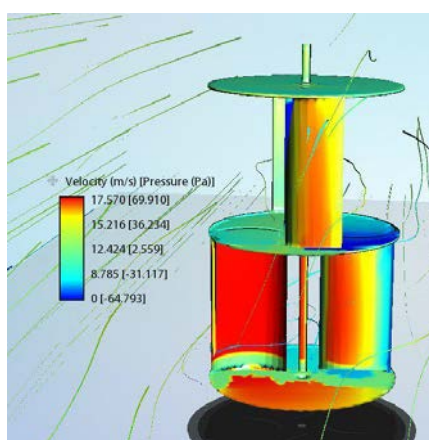


Рисунок 2.29 – CFD – аналіз конструкції із двома ступенями

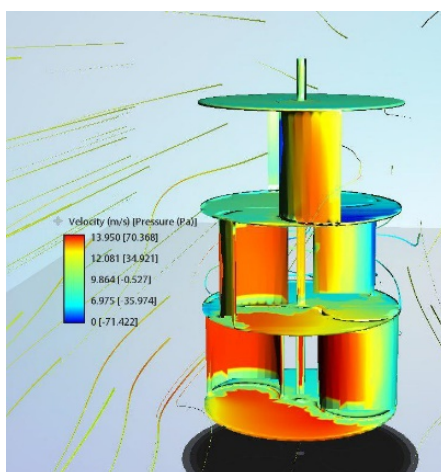


Рисунок 2.30 – CFD – аналіз конструкції із трьома ступенями

На рис. 2.28, 2.29, 2.30 зображено CFD –аналіз конструкцій із однією, двома та трьома ступенями. За результатами тиску на лопаті та напрямку потоку вітру можна зробити висновок, що варіант із двома ступенями є найкращим.

2.4.3 CFD – аналіз конструкції із спіральними лопатями

За результатами досліджень, які вже виконувались, вітрогенератори із спіральними лопатями показують кращу продуктивність в порівнянні із звичайними лопатями. Для перевірки цих досліджень, розглянемо CFD –аналіз конструкції із спіральними лопатями, що зображено на рис. 2.31.

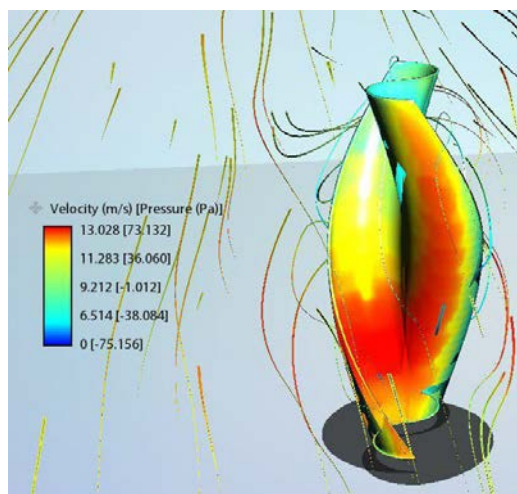


Рисунок 2.31 – CFD – аналіз конструкції із спіральними лопатями

За результатами аналізу, можливо зробити висновок, що конструкція із спіральними лопатями є продуктивнішою чим із звичайними лопатями циліндричної форми. За рахунок специфічної форми лопатей, напрямок потоку вітру рухається від самого низу та до самого верху конструкції, що позитивно впливає на продуктивність вітрогенератора і в свою чергу дозволяє не використовувати конструкції із різною кількістю ступенів.

2.4.4 CFD – аналіз конструкції із дефлектором

Як розглядалось раніше, аналітичний розрахунок показав, що використання дефлектора у парі із вітрогенератором покращує продуктивність. Потрібно розглянути напрямки потоку вітру та тиск, що виникає на лопатях. CFD –аналіз конструкції із дефлектором зображено на рис. 2.32.

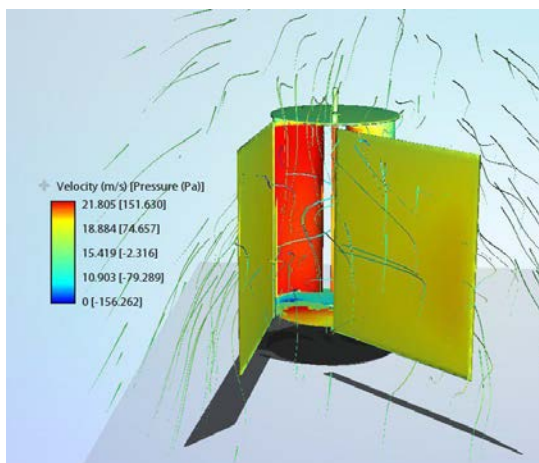


Рисунок 2.32 – CFD – аналіз конструкції із дефлектором

На рис. 2.32. видно, що тиск, який виникає на лопатях суттєво вищий, ніж тиск, що виникає на лопатях без використання дефлектора. Дефлектор концентрує потік повітря і дозволяє підвищувати продуктивність вітрогенератора. Потіки вітру, що виникають при використанні дефлектора, можливо розглянути на рис. 2.33.

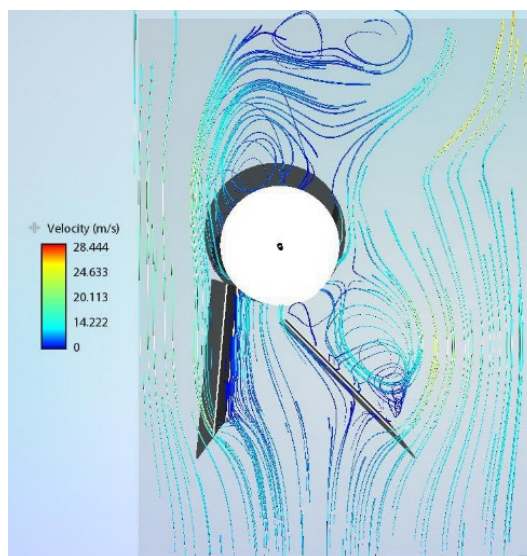


Рисунок 2.33 – CFD – аналіз конструкції із дефлектором, вигляд сверху

Отже, даний елемент конструкції значно підвищує продуктивність і його можливо використовувати на узбіччях, для концентрування потоків повітря від

руху автомобілів. CFD – аналізи проводились за участю Норвезького університету науки і техніки.

2.5 Розрахунок елементів конструкції вітрогенеруючої частини

Наступний кроком, після того як ми визначились із варіаціями конструкції, буде конструювання вітрогенеруючої частини вцілому. Для прикладу розглянемо рис.2.34, на якому зображено головні частини вертикального вітрогенератора.

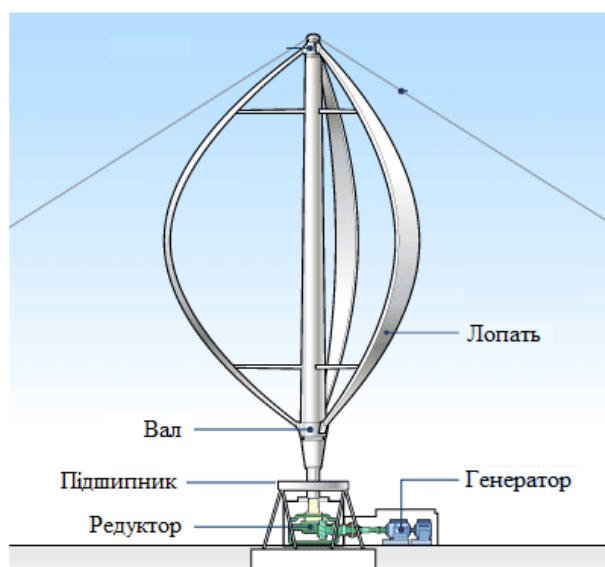


Рисунок 2.34 – Класична конструкція вертикального вітрогенератора [53]

Із рисунка видно, що головними компонентами конструкції є:

- лопаті. Саме вони виконують роль уловлювачі потоків вітру і змушують обертатись вал;
- вал. На валу кріпляться лопаті. За рахунок валу обертання передається на редуктор;
- підшипник. Підшипник потрібен для можливості обертання валу;
- редуктор. Редуктор призначений для зміни кутових швидкостей та обертальних моментів;
- генератор. Прилад, що дозволяє за рахунок обертальних рухів вала перетворювати механічну енергію в електроенергію.

В конструкції вітрогенератора також присутні пристрої, які відносяться до електротехнічних, зображені на рис.2.35, а саме:

- контролер. Контролер у динамічному режимі перевіряє струм і напругу зарядки батареї; [54]
- інвертор. Інвертор - це електротехнічний пристрій, який перетворює постійний струм в змінний, при цьому може видавати напругу необхідну для забезпечення місцевої мережі;[55]
- акумулятор. Використання акумуляторних батарей (АКБ) надає можливість створювати автономне і резервне енергопостачання. Необхідність застосування пристроїв викликана нестабільністю генерування і витрат електричної енергії, що виробляється вітроустановками різних видів;[56]
- АС/DC-перетворювачі. АС/DC-перетворювачі – це джерела живлення, призначені для перетворення змінної напруги в постійну. Використовуються для забезпечення живлення електричного обладнання і апаратури; [57]
- гальмівний механізм. Якщо швидкість вітру занадто велика, цей елемент дозволить запобігти руйнуванню усієї конструкції.

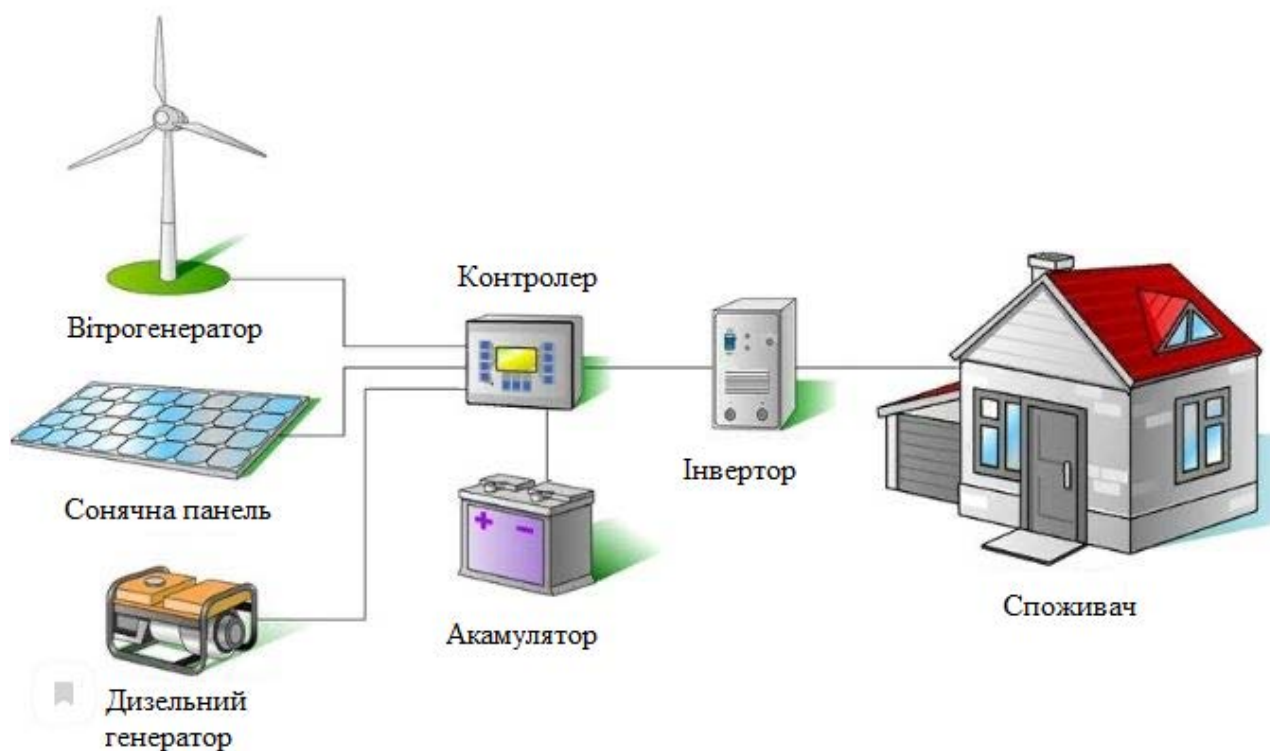


Рисунок 2.35 – Приклади застосування електротехнічних пристроїв [58]

Лопаті

Головними параметрами лопатів під час конструювання є :

- висота лопаті;
- діаметр напівциліндричної лопаті.

Із [27] допустимий можливий діаметр вітрогенератора 600 мм вцілому, отже обираємо діаметр однієї лопаті - 250 мм. Висота лопаті визначається із співвідношення сторін (2.1) і досягає 1100 мм. Щодо матеріалу лопаті, тут є декілька варіантів: полівінілхлорид, алюміній, скловолокно, композити або дерево. Розглянемо більш детально кожний матеріал та виділимо переваги та недоліки кожного із них.

Найпопулярнішим варіантом матеріалу для створення лопатей для вітрогенератора – це труби із полівінілхлориду. Вони легко піддаються зміні форми лопатей, мають малу вагу та помірну ціну. Недоліком даного матеріалу є його жорсткість та твердість.[59]

Алюміній має гарні якості матеріалу на розрив і на згин. Але головними недоліками даного матеріалу є його ціна, складність в виготовленні та велика вага .[60]

Скловолокно вважається одним із найкращих матеріалів для виготовлення лопатей за своїми гарними якостями по міцності, жорсткості та твердості. Головними недоліками є складність у виготовленні та висока ціна. [61]

Карбонове волокно має найкращі характеристики але ціна досить висока. Економічно не доцільно використовувати даний матеріал [62]

Дерево. Цей матеріал найкраще піддається обробці, але всі характеристики набагато гірші ніж у конкурентів. Ціна даного матеріалу також досить помірною. [63]

Отже, для подальшого розрахунку обрано матеріал лопатей- полівінілхлорид.

Вал вітрогенератора

Головним параметром вибору труби для вала вітрогенератора є діаметр труби. Труба повинна витримувати усі навантаження під час роботи. Головними параметрами оцінки були:

- навантаження, що виникають в найбільш напруженій точці вітрогенератора. Це навантаження повинне не перевищувати граничне допустиме навантаження матеріалу;

- нульова деформація.

Із розділу 2.4 видно, що найбільше напруження, що виникає на лопатях під час роботи дорівнює $P = 384$ Па. Для подальших розрахунків потрібно скористатись формулою (2.17) [64] :

$$P = \frac{F}{S} \quad (2.17)$$

де F – сила, що діє на лопать, H ;

S – площа лопаті, m^2 ;

Розраховуємо площину лопаті:

$$S = \frac{\pi D h}{2} = \frac{\pi \cdot 0,25 \cdot 1,1}{2} = 0,432 \text{ м}^2$$

де D – діаметр лопаті, m ;

h – висота лопаті, m .

Отже, із (2.17) сила, що діє на лопать в максимально напруженій точці:

$$F = S \cdot P = 384 \cdot 0,432 = 86,5 \text{ Н}$$

Отже, розрахуємо згинальний момент вала за формулою (2.18) [64]:

$$M = F \cdot l \quad (2.18)$$

Перший підшипник знаходиться вище на відстані 40мм від найвищої точки лопатей. Другий підшипник знаходиться нище на відстані 124мм від найнищої

точки лопатей. Третій підшипник знаходиться нище на відстані 705мм від найнищої точки лопатей. Для зручності обрахунків оберемо, що $l = 600\text{мм}$.

Розрахуємо статичну невизначену балку із трьома опорами(підшипниками) за формулами із [65]. Визначення степені статичної невизначеності системи, що зображена на рис.2.36.

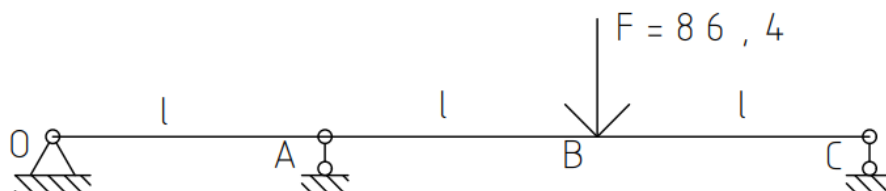


Рисунок 2.36 – Схема навантаження вісі вітрогенератора

Наступним кроком потрібно порахувати кількість зовнішніх зв'язків: 2 зв'язки в точці O, 1 зв'язок в точці A та 1 зв'язок в точці C.

$$n_{\text{зовн}} = 2 + 1 + 1 = 4$$

Розрахуємо кількість внутрішніх зв'язків, що розраховується за формулою (2.19)

$$n_{\text{внутр}} = k \cdot 3 = 0 \cdot 3 = 0 \quad (2.19)$$

Кількість внутрішніх зв'язків дорівнює нулю, тому що це звичайна балка. Порахуємо загальну кількість зв'язків, за формулою (2.20)

$$n = (n_{\text{зовн}} + n_{\text{внутр}}) - 3 = 4 - 3 = 1 \quad (2.20)$$

Потрібно розглянути варіанти основних та еквівалентних систем, що зображені на рис.2.36 – рис.2.39. В точках O, A та C знаходяться підшипники. У точці B прикладена сила, що діє на лопаті і знаходиться посередині лопатей. Основна система – це система, в якій не враховується один із зв'язків і навантаження.

Еквівалентна система- це основна система із навантаженнями, але замість зв'язку – реакція опори.

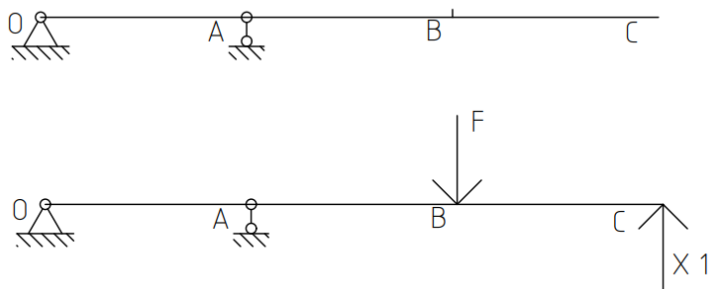


Рисунок 2.37 – Основна система №1(зверху) та еквівалентна система №1(знизу)

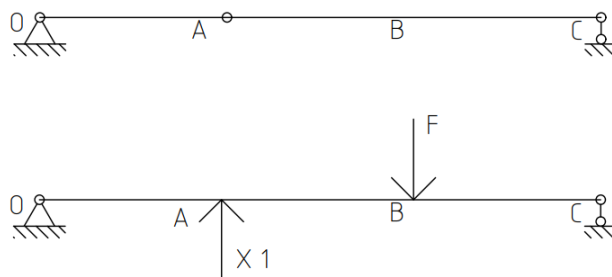


Рисунок 2.38 – Основна система №2(зверху) та еквівалентна система №2(знизу)

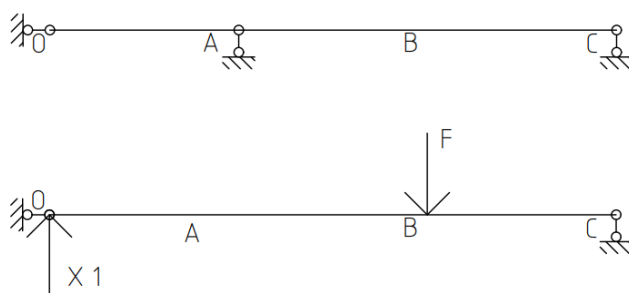


Рисунок 2.39 – Основна система №3(зверху) та еквівалентна система №3(знизу)

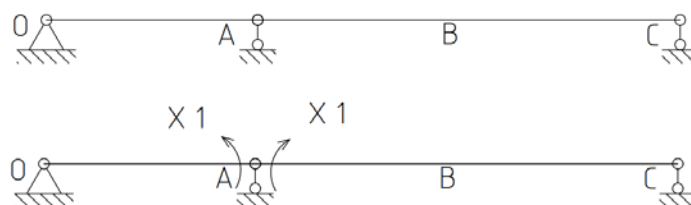


Рисунок 2.40 – Основна система №4(зверху) та еквівалентна система №4(знизу)

В основній системі №3 неможна відкинути повністю зв'язок через те що система перетвориться в механізм. Для подальшої роботи обираємо в якості основної робочої системи №4, що зображена на рис.2.40.

Запишемо систему канонічних рівнянь за формулою (2.21):

$$X_1 \cdot \delta_{11} + \delta_{1F} = 0 \quad (2.21)$$

Це рівняння говорить про те, що в точці А немає зламу, а є одна суцільна вісь.

Розраховуємо коефіцієнти канонічних рівнянь. Рисуємо основну систему №4 та прикладаємо до неї зовнішнє навантаження. Дана система розкладається на дві системи, які зображені на рис.2.41. Із еквівалентною система проводимо тіж операції. Результат зображений на рис. 2.42.

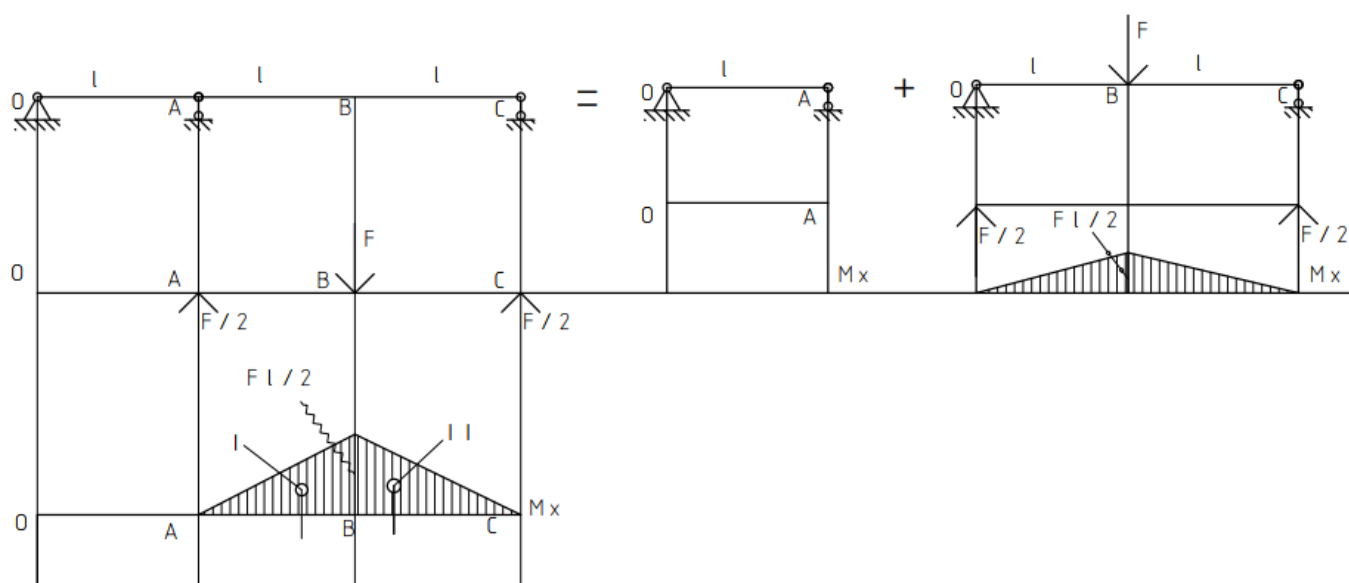


Рисунок 2.41 – Основна система №4 із прикладеним навантаженням

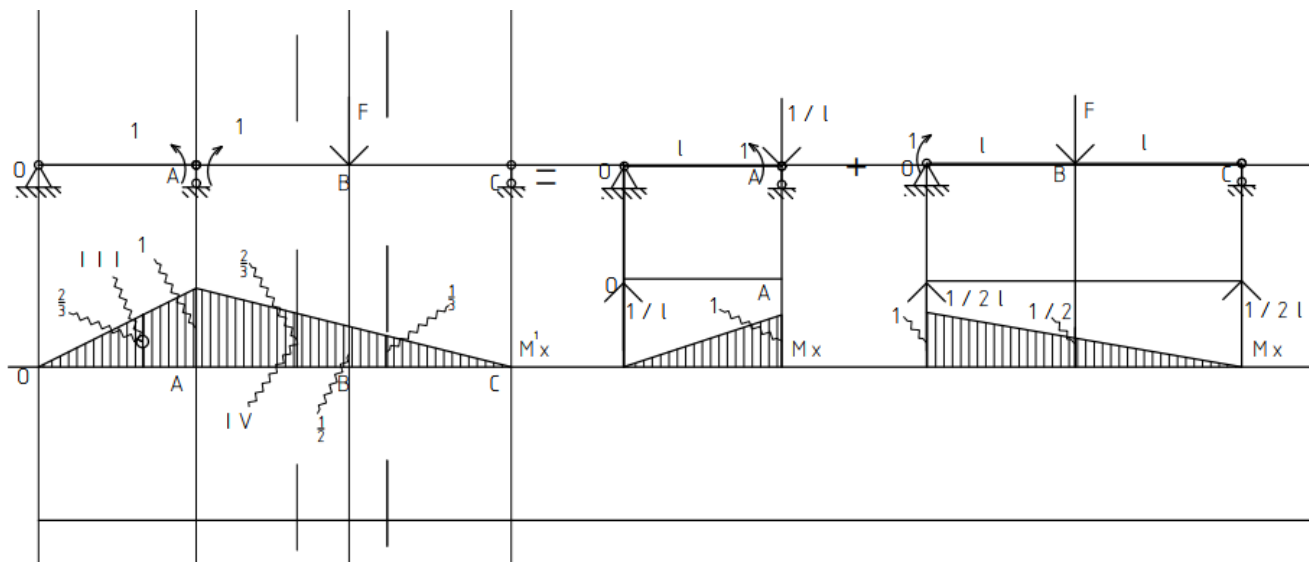


Рисунок 2.42 – Еквівалентна система №4 із прикладеним навантаженням

Розраховуємо коефіцієнти за формулою (2.22) та (2.23) із [65] :

$$\delta_{11} = \frac{M_x^1 \cdot M_x^F}{E \cdot I_x} \quad (2.22)$$

$$\delta_{1F} = \frac{M_x^1 \cdot M_x^1}{E \cdot I_x} \quad (2.23)$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{E \cdot I_x} \left[\left(\frac{l}{2} \cdot \frac{Fl}{2} \right) \cdot \frac{2}{3} + \left(\frac{l}{2} \cdot \frac{Fl}{2} \right) \cdot \frac{1}{3} \right] = \frac{1}{4} \cdot \frac{Fl^2}{E \cdot I_x}$$

$$\delta_{1F} = \frac{1}{E \cdot I_x} \left[\left(\frac{l}{2} \cdot l \cdot 1 \right) \cdot \frac{2}{3} + \left(\frac{l}{2} \cdot l \cdot 1 \right) \cdot \frac{2}{3} \right] = \frac{l}{E \cdot I_x}$$

Наступним кроком розраховуємо коефіцієнт X_1 із рівняння (2.21):

$$X_1 = -\frac{\delta_{1F}}{\delta_{11}} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{Fl^2}{E \cdot I_x} \cdot \frac{E \cdot I_x}{l} = -\frac{1}{4} Fl$$

Зобразимо епюру згинальних моментів, щоб зрозуміти скільки дорівнюють усі реакції опори. Епюра зображена на рис.2.43. Перевірка виконана – всі розрахунки вірні.

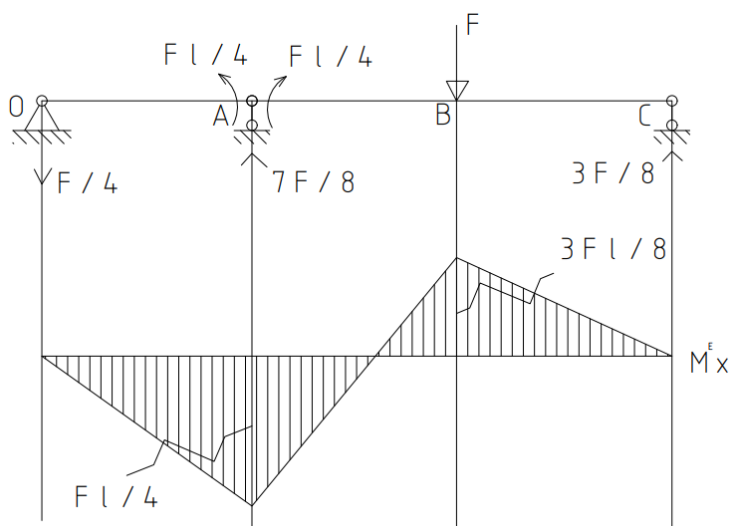


Рисунок 2.43 – Епюра згинальних моментів

Визначимо найбільший згинальний момент, який виникає на валу вітрогенератора.

$$M_{зг1} = \frac{3Fl}{8} = 19,44 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{зг2} = \frac{Fl}{4} = 12,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для подальших розрахунків обираємо найбільший згинальний момент $M_{зг1}$.

Потрібно порахувати крутний момент, що виникає на валу, для цього розглянемо схему, що зображена на рис. 2.44

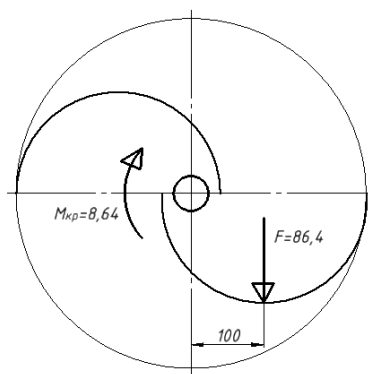


Рисунок 2.44 – Схема крутного моменту

Крутний момент $M_{кр}$ визначається за формулою:

$$M_{кр} = F \cdot l$$

$$M_{кр} = 86,4 \cdot 0,1 = 8,64 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Із [66] розрахуємо нашу вісь на міцність за формулою (2.24).

$$W = \frac{\sqrt{M_{зг}^2 + 0,45 \cdot M_{кр}^2}}{[\sigma_{зг}]} \quad (2.24)$$

де W –момент супротиву, см^3 ;

$[\sigma_{зг}]$ –допустиме напруження, МПа

Із цієї формули визначимо момент супротиву труби W . $[\sigma_{зг}] = 90$ МПа, із[66]

$$\frac{\sqrt{M_{зг}^2 + 0,45 \cdot M_{кр}^2}}{[\sigma_{зг}]} = \frac{\sqrt{19,44^2 + 0,45 \cdot 8,64^2}}{90} = 0,0021 \text{ см}^3$$

За ГОСТ 10704-91 [67] труба із діаметром та товщиною стінки $d = 16$ мм та $t = 1,4$ мм витримує дані навантаження. Отже потрібно обрати трубу із більшим діаметром та товщиною стінки, для забезпечення надійності конструкції.

Щоб перевірити чи вірно пораховано момент супротиву потрібно скористатись формулою (2.25) із [68].

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot N}{\pi \cdot [\sigma_{зг}]} \cdot \sqrt{M_{зг}^2 + \frac{3}{4} \cdot M_{кр}^2}} \quad (2.25)$$

де $N = 3$ – коефіцієнт безпеки із[68]

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3}{\pi \cdot 90 \cdot 10^6} \cdot \sqrt{19,44^2 + \frac{3}{4} \cdot 8,64^2}} \geq 0,0092 \text{ м} \geq 9,2 \text{ мм}$$

Отже, діаметр вісі d в даному випадку дорівнює 9,2 мм. Це значення для нас є прийнятним, тому що в даній формулі розрахунки проводились для сталюого суцільного валу. Перевірка виконання. Для подальшої роботи обираємо трубу $d_{\text{вн}} = 20$, $t = 2,5$ мм із [67].

Підшипники

Потрібно обрати надійний підшипник, який буде витримувати усі навантаження, які виникають під час обертання вітрогенератора.

Отже, із епюри згинальних моментів можемо зробити висновок, що реакція опори на першому підшипнику буде дорівнювати:

$$F_1 = \frac{3F}{8} = \frac{3 \cdot 86,4}{8} = 32,4 \text{ Н}$$

Реакція опори на другому підшипнику буде дорівнювати:

$$F_2 = \frac{7F}{8} = \frac{7 \cdot 86,4}{8} = 75,6 \text{ Н}$$

Реакція опори на третьому підшипнику буде дорівнювати:

$$F_3 = \frac{F}{4} = \frac{86,4}{4} = 21,6 \text{ Н}$$

Ці значення приймаємо як радіальний опір підшипників.

Під час даного розрахунку не враховувалась вага самої конструкції. Для більш точного розрахунку використаємо формули із дослідження [68]. Вага конструкції 5 кг, отже осьова сила, що діє на підшипники буде дорівнювати 50 Н. Отже радіальне навантаження, що виникає в підшипниках під час їх роботи буде розраховуватись за формулою (2.26):

$$P = \max[(X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a), V \cdot F_r] \quad (2.26)$$

де F_r — це найбільша реакція опори, що виникає на трьох підшипниках, Н;

F_a — осьова сила, що діє на підшипники.

V – коефіцієнт для типів підшипників. $V = 1,2$, якщо рухається зовнішнє кільце підшипника. $V = 1$, якщо рухається внутрішнє кільце підшипника. Обираємо $V = 1$.

$$P = \max[(X \cdot 1 \cdot 75,6 + Y \cdot 50), 1 \cdot 75,6]$$

Відповідно до [68], середній життєвий цикл електрогенератора малих розмірів складає від 8000 до 10000 год (обираємо 10000), отже, скористаємось формулою (2.27):

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{P}\right)^\rho \quad (2.27)$$

При ідеальних умовах (швидкість вітру 10 м/с) кутова швидкість визначається за формулою:

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{10}{0,25} = 40 \text{ рад/с}$$

Звідси частота обертання ротора буде визначатись за формулою (2.28) із [69]:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (2.28)$$

$$n = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{40}{2 \cdot \pi} = 6 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 360 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Отже, за подальші розрахунки проводимо за формулою:

$$\frac{C}{P} = \sqrt[3]{216,02} = 6$$

Отже, підставимо значення P :

$$\frac{C}{X \cdot 75,6 + Y \cdot 50} = 6$$

Із [66] дізнаємо коефіцієнти X та Y . Обираємо підшипники кулькові радіально-упорні однорядні із кутом контакту $\alpha = 12^\circ$. $X = 0,5$ та $Y = 0,47$.

Розраховуємо значення статичного еквівалентного радіального навантаження C :

$$\frac{C}{0,5 \cdot 75,6 + 0,47 \cdot 50} = 6$$

$$C = 367,8 \text{ Н}$$

Підбираємо підшипник із ГОСТ 831-75 [70]. Обрано однорядний радіально-упорний кульковий підшипник типу 1036905, легкої серії діаметрів 9 із $d = 25$ мм, $D = 42$ мм, $T = 9$ мм. Із [70] перевіримо, чи $C = 367,8$ Н підходить для даного підшипника. Для обраного підшипника $C = 7100$ Н. Отже, стійкість задовільняється. Ескіз підшипника із головними розмірами зображений на рис.2.45. За можливістю індивідуального виробництва потрібно використовувати саморегулюючий підшипник із нержавіючої сталі.

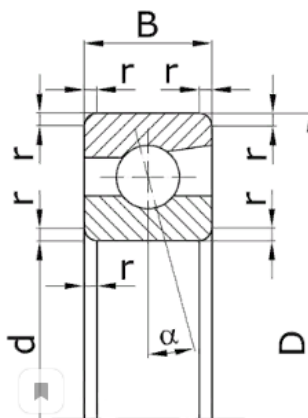


Рисунок 2.45 – Підшипник типу 1036905

Розрахунок болтового з'єднання на зріз

Для забезпечення надійної конструкції, потрібно розрахувати болтове з'єднання на зріз, що виділено червоним овалом, на рис. 2.46.

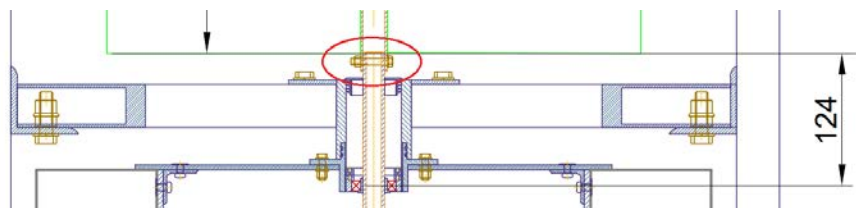


Рисунок 2.46 – Болтове з'єднання

Для розрахунку скористаємось матеріалом із [66]. Навантаження, що виникає на болт, зображено на рис. 2.47.

Вхідні данні для розрахунку: осьове навантаження на болт відсутнє, поперечне навантаження на болт розраховується за схемою, що зображена на рис. 2.44, що враховує масу лопастей та силу, що діє під час руху лопатей, розрахункова температура болта $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, кількість болтів - $z = 2$ (зверху конструкції труба також фіксується), стандарт для визначення допустимих напружень: ДСТУ ISO 898-1:2003 [71]

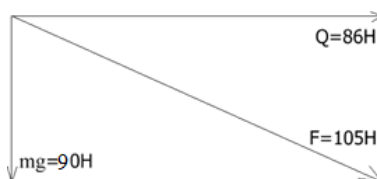


Рисунок 2.47 – Схема сил для болтового з'єднання

Розраховуємо силу, що діє на болт за формулою:

$$F = \sqrt{mg^2 + Q^2} = 105H$$

Маса лопатей розраховується за формулою:

$$m_{\text{л}} = \rho \cdot V$$

де $\rho = 1,34\text{ г/см}^3$ — густина полівінілхлориду [72]

Об'єм лопатей розраховується за формулою для порожнього циліндра із товщиною стінки 6,2 мм [73]:

$$V = \pi \cdot H \cdot (R^2 - r^2)$$

$$V = \pi \cdot 110 \cdot (12,5^2 - 12,1^2) = 5878\text{ см}^3$$

Тоді

$$m_{\text{л}} = 1,34 \cdot 5878 = 7,8 \text{ кг}$$

Додамо до $m_{\text{л}}$ масу труби $m_{\text{т}}$:

$$m = m_{\text{л}} + m_{\text{т}} = 7,8 + 1,2 = 9 \text{ кг}$$

Клас міцності болта – 3.6. Допустиме напруження на розтяг $[\sigma] = 90 \text{ МПа}$, допустиме напруження на зріз $[\tau] = 45 \text{ МПа}$. Номінальний діаметр різьби болта: $D = 4 \text{ мм}$. Шаг різьби болта $P = 0,7 \text{ мм}$. Діаметр різьби по впадинам: $d_3 = 3,14 \text{ мм}$.

Розрахуємо площу перерізу болта, площу перерізу тіла болта та момент супротиву перерізу крученню за формулами:

$$A_w = \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d^2)$$

де d – діаметр отвору в болті, якого в нас немає, мм.

$$A_w = \frac{\pi}{4} (3,14^2 - 0^2) = 7,7 \text{ мм}$$

$$A_D = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

$$A_D = \frac{\pi}{4} (4^2 - 0^2) = 12,6 \text{ мм}$$

$$W_w = \frac{\pi D^3 (1 - \frac{d^3}{D^3})}{16}$$

$$W_w = \frac{\pi 4^3 (1 - \frac{0^3}{4^3})}{16} = 6,1 \text{ мм}^3$$

Напруження зрізу по різьбовій частині визначається за формулою:

$$T_w = \frac{F}{A_w \cdot z}$$

$$T_w = \frac{104}{7,7 \cdot 2} = 6.8 \text{ МПа} < 45 \text{ МПа, отже умову виконано}$$

Напруження зрізу тіла болта визначається за формулою:

$$T_D = \frac{F}{A_D \cdot z}$$

$$T_D = \frac{104}{12,6 \cdot 2} = 4.1 \text{ МПа} < 45 \text{ МПа, отже умову виконано}$$

Генератор

Генератор один із основних приладів, які потрібні для виконання головної цілі вітрогенератора- генерування електроенергії. Із визначимо, які типи генераторів використовують для вітрогенеруючих установок:[74]

Від автомобіля. Переваги: недорогий, дуже легко відшукати, вже повністю зібраний. Недоліки: для роботи потрібна велика швидкість обертання, задля цього потрібно встановлювати додаткові шківи. Ціна: залежить від моделі та марки автомобіля.

Саморобний генератор. Переваги: невисока вартість всієї комплектації, досить хороша продуктивність, щодо автомобільного генератора, при правильній збірці, можливо отримати велику потужність, дуже міцна і непорушна збірка. Недоліки: складний у виготовленні. Ціна: залежить від куплених запчастин і номінальної, бажаної потужності.

Змінного струму, асинхронний. Переваги: невисока вартість, дуже легко знайти і придбати, не складно переобладнати під вітрогенератор, при низьких оборотах дуже хороша продуктивність. Недоліки: максимальна потужність обмежена, так як агрегат має внутрішній опір, при високих обертах лопаті, генератор не виробляє достатню кількість електроенергії, для того, щоб встановити на вітрогенератор, потрібно обробити на токарному верстаті. Ціна: можливо знайти від однієї тисячі гривень.

Постійного струму. Переваги: проста і зрозуміла конструкція, вже зібраний і готовий до використання, досить добре працює на низьких оборотах. Недоліки: дуже складно знайти генератори потрібної потужності, адже маленькі агрегати не видають потрібну потужність, дуже хтивий. Ціна: починається від 3 тисяч гривень.

З постійними магнітами. Переваги: дуже висока ефективність, є можливість отримати багато потужності, конструкція міцна і стійка. Недоліки: якщо робити своїми руками, то дуже складний проект, потрібна обробка на токарному верстаті. Ціна: дорогий.

Низькообертовий. Переваги: простий у використанні, не вимагає великих витрат, добре працює на низьких оборотах. Недоліки: чи не буде працювати на високих оборотах, слабка потужність. Ціна: близько 5 тисяч гривень.

Асинхронний:

Переваги: Не дорогий, легко знайти, не складно переобладнати під вітряк, відмінно працює на низьких оборотах. Недоліки: внутрішній опір обмежує потужність, мала ефективність на високих швидкостях. Ціна: ціновий діапазон орієнтується по потужності.”

Отже, обираємо генератор [75] із характеристиками: 500 Вт, 600 об/хв, напруга 12/24/48/110/220 В, номінальний ток 20А, гарантія 12 міс.

Клинопасова передача

Для подальшого розрахунку діаметрів шківів, довжини ременя користуємось [76].

Згідно таблиць дану потужність можна передавати пасами перерізів типу О.

По таблицям приймаємо діаметр меншого шківа, мм: $D_1=70$

Визначаємо швидкість паса, м/с:

$$V = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60 \cdot 1000}$$

$$V = \frac{\pi \cdot 140 \cdot 360}{60 \cdot 1000} = 1.319$$

Визначаємо діаметр більшого шківa, мм:

$$D_2 = D_1 \cdot U \cdot (1 - \xi)$$

де $\xi = 0,02$ – коефіцієнт пружного ковзання

$$D_2 = 140 \cdot 0,6 \cdot 0,98 = 82,32$$

По ДСТУ 1284-68 [77] та з таблиць приймаємо діаметри шківів (і підставляємо їх значення), мм: $D_1 := 140$, $D_2 = 80$.

По стандартним значенням діаметрів шківів визначаємо дійсні частоти обертання валів, об/хв:

$$n_2 = (1 - \xi) \cdot \frac{D_1 \cdot n_1}{D_2}$$

$$n_2 = (1 - 0,02) \cdot \frac{140 \cdot 360}{80} = 617 \text{ об/хв}$$

Уточнюємо передаточне число:

$$U = \frac{n_1}{n_2}$$

$$U = \frac{360}{617} = 0,583$$

Вибираємо згідно ДСТУ 1284-68 розміри перерізу паса, мм: $b_0 = 10$ мм, $h = 6$ мм, $b_0 = 8.5$ мм, $A = 47$ мм².

Міжосьова відстань, мм:

$$a_{min} = 0,55 \cdot (D_1 + D_2) + h$$

$$a_{min} = 0,55 \cdot (140 + 80) + 6 = 127 \text{ мм}$$

$$a_{max} = 2 \cdot (D_1 + D_2)$$

$$a_{max} = 2 \cdot (140 + 80) = 440 \text{ мм}$$

$$a = \frac{a_{min} + a_{max}}{2}$$

$$a = \frac{127 + 440}{2} = 283,5 \text{ мм}$$

Визначаємо довжину паса, мм

$$l = 2 \cdot a + \left[\frac{\pi \cdot (D_1 + D_2)}{2} \right] + \frac{(D_1 + D_2)^2}{4 \cdot a}$$

$$l = 2 \cdot 283,5 + \left[\frac{\pi \cdot (140 + 80)}{2} \right] + \frac{(140 + 80)^2}{4 \cdot 283,5} = 954 \text{ мм}$$

За стандартом із таблиць приймаємо довжину паса найближчу до розрахункової, мм: $l = 1000 \text{ мм}$

Уточнюємо міжосьову відстань, мм:

$$a = \frac{2 \cdot l - \pi \cdot (D_1 + D_2) + \sqrt{[2 \cdot l - \pi \cdot (D_1 + D_2)]^2 - 8 \cdot \pi \cdot (D_1 - D_2)^2}}{8}$$

$$a = \frac{2 \cdot 1000 - \pi \cdot (140 + 80) + \sqrt{[2 \cdot 1000 - \pi \cdot (140 + 80)]^2 - 8 \cdot \pi \cdot (140 - 80)^2}}{8}$$

$$a = 322 \text{ мм}$$

Мінімальна міжосьова відстань для монтажу паса, мм:

$$a_{min} = a - 0,01 \cdot l$$

$$a_{min} = 322 - 0,01 \cdot 1000 = 312 \text{ мм}$$

Максимальна міжосьова відстань для підтягування паса при видовженні, мм:

$$a_{max} = a + 0,025 \cdot l$$

$$a_{max} = 322 + 0,025 \cdot 1000 = 347 \text{ мм}$$

Визначаємо число пробігів паса в секунду, 1/с:

$$v = \frac{V}{l \cdot 10^{-3}}$$

$$v = \frac{1.32}{1000 \cdot 10^{-3}} = 1,32 \text{ 1/с}$$

де $v_d = 15$ допустиме число пробігів паса із [76]

$v < v_d$ умова виконується.

Визначаємо кут обхвату, град:

$$\alpha = 180 - \frac{(D_2 - D_1) \cdot 57}{a}$$

$$\alpha = 180 - \frac{(80 - 140) \cdot 57}{322} = 191$$

Коефіцієнт кута обхвату:

$$C_\alpha = 1 - 0.003 \cdot (180 - \alpha)$$

$$C_\alpha = 1 - 0,003 \cdot (180 - 191) = 1,033$$

Коефіцієнт швидкості:

$$C_v = 1,05 - 0,0005 \cdot v^2$$

$$C_v = 1,05 - 0,0005 \cdot 1,32^2 = 1,0491$$

Приймаємо корисне напруження, Н/мм: при $\sigma_0 = 1,2$ приймаємо $\sigma_{tD_0} = 1,6$.

Вибираємо коефіцієнт динамічності і навантаження $C_p : C_p = 1$.

Тоді корисне допустиме напруження в заданих умовах, Н/мм² :

$$\sigma_{tD} = \sigma_{tD_0} \cdot C_\alpha \cdot C_v \cdot C_p$$

$$\sigma_{tD} = 1,6 \cdot 1,033 \cdot 1,049 \cdot 1 = 1,734$$

Колове зусилля, Н:

$$F_t = \frac{1000 \cdot P_1}{v}$$

$$F_t = \frac{1000 \cdot 0,652}{1,32} = 493 \text{ Н}$$

Визначаємо число пасів z :

$$z = \frac{F_t}{\sigma_{tД} \cdot A}$$

$$z = \frac{493}{1,734 \cdot 47} = 6,04$$

Остаточне число пасів $z = 6$.

Сила, яка діє на вали, H :

$$Q = 2 \cdot \sigma_0 \cdot z \cdot A \cdot \sin\left(\frac{\alpha \cdot \text{deg}}{2}\right)$$

$$Q = 2 \cdot 1,2 \cdot 6 \cdot 47 \cdot 0,994 = 672 \text{ Н}$$

де σ_0 – напруження від початкового натягу, Н/мм^2 ;

A – розрахункова площа перерізу паса (пасів), мм^2 .

Отже, за виконаними розрахунками, обираємо шківи із тапербушами, для швидкого з'єднання із валами моделей із [78]: SATI - SPZ80-06 (ТВ 1210) SATI і SPZ140-06 (ТВ 1610). Обраний шків із головними розмірами зображений на рис. 2.48. Головні розміри шківа: $P = 80 \text{ мм}$, $O = 84 \text{ мм}$, $F = 76 \text{ мм}$, $J = 61 \text{ мм}$, $K = 51 \text{ мм}$, $L = 25 \text{ мм}$. Обрана втулка(тапербуш) із головними розмірами зображена на рис.2.49. Головні розміри тапербуша: $D_1 = 57 \text{ мм}$, $S = 25,4 \text{ мм}$, $D = 20 \text{ мм}$, $t = 22,8 \text{ мм}$, $b = 6 \text{ мм}$.

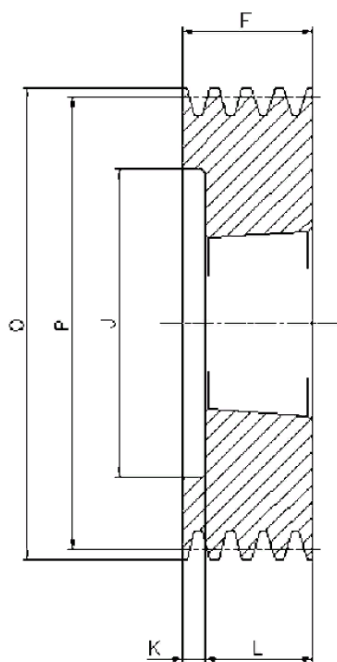


Рисунок 2.48 – Шків [79]

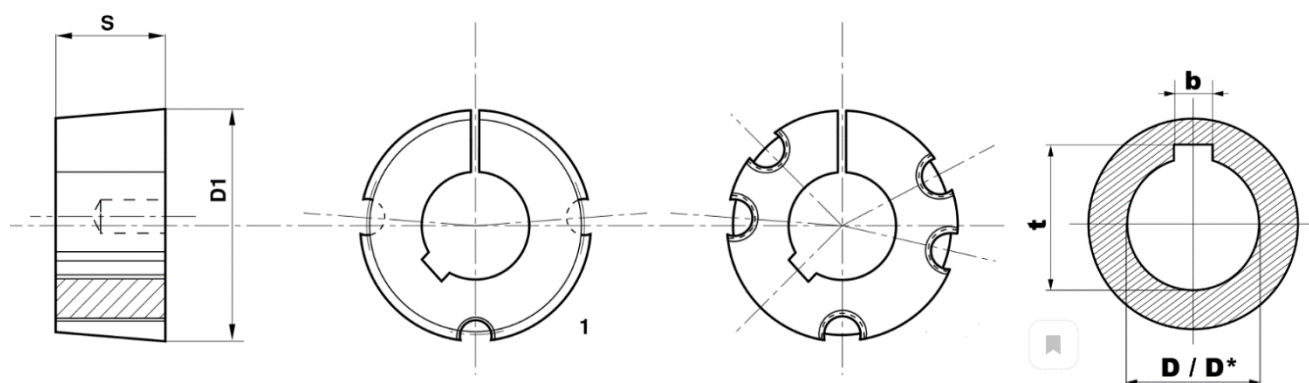


Рисунок 2.49 – Тапербуш [80]

Шпонкове з'єднання:

Головні розміри шпонкового з'єднання зображені на рис. 2.50. Для того, щоб переконатись, що шпонка на валу вітрогенератора витримує навантаження потрібно виконати певні розрахунки за [66]:

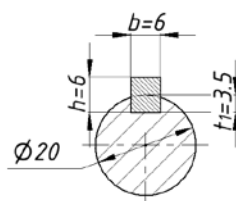


Рисунок 2.50 – Схематичне зображення шпонкового з'єднання

Матеріал шпонки – сталь 45. Напруження зминання вузьких граней шпонки не повинні перевищувати допустимі, тобто задовільняти умови рівняння:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot l(h - t_1)} \leq [\sigma]_{зм}$$

де $T = 8,64$ – крутний момент, що виникає на валу, Н · м;

$d = 20$ – діаметр обраного для конструкції вала, мм;

$h = 6$ – висота шпонки із [66], мм;

$t_1 = 3,5$ – глибина паза вала із [66], мм;

$l = 14$ – довжина шпонки із ГОСТ 23360-78 [81], мм. Обираємо мінімальне значення.

$[\sigma]_{зм} = 100$ – допустиме напруження зминання із [66], МПа.

$$\frac{2 \cdot 8,64}{0,02 \cdot 0,014(0,006 - 0,0035)} = 24,68 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{зм}$$

Отже, шпонка витримує напруження на зминання, але ще потрібно, для достовірності порахувати, чи витримує шпонка навантаження на зріз за формулою:

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot l \cdot b} \leq [\tau]_{зр}$$

де $b = 6$ мм – ширина шпонки;

$[\tau]_{зр} = 0,6 \cdot [\sigma]_{зм} = 60$ МПа – допустиме навантаження на зріз [66].

$$\frac{2 \cdot 8,64}{0,02 \cdot 0,014 \cdot 0,006} = 10,2 \text{ МПа} \leq [\tau]_{зр}$$

Отже, шпонка витримує напруження на зріз і конструкція даного з'єднання задовільняє усі механічні вимоги.

2.6 Конструкція автомагістрального вітрогенератора із елементом пасивної безпеки

Загальна конструкція автомагістрального вітрогенератора з елементом безпеки представлена на рис. 2.51. Даний виріб має модульну структуру для швидкого та легкого монтажу.

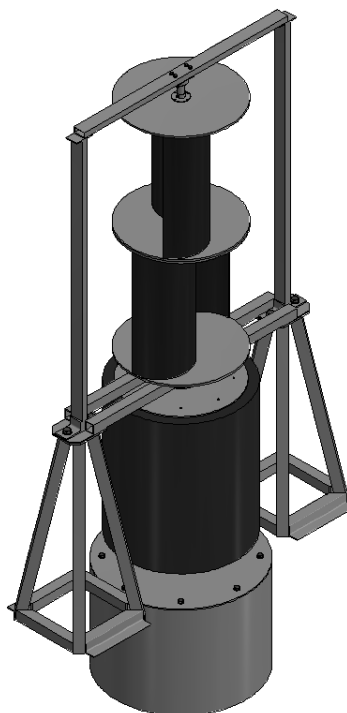


Рисунок 2.51 – 3D-модель автомагістрального вітрогенератора з елементом пасивної безпеки

Верхня секція лопатей повернута відносно нижньої на кут 30° для імітації спіральної форми, оскільки виготовлення лопатей спіральної форми має певні технологічні складності у виготовленні, а тому і у вартості. Також секційна конструкція лопатей додає жорсткості при згині.

Монтування системи відбувається у декілька стадій, що зображені на рис. 2.52. Стадія 1 – це монтування підземної частини під дорожнє покриття. Стадія 2 включає монтування нижніх бокових опор. Стадія 3 – це монтування елемента пасивної безпеки, нижньої частини осі ротора та регулювання натягу підшипників. Стадія 4 – це монтування нижньої горизонтальної опори, що підтримує вісь

конструкції. Стадія 5 включає монтування ротора вітрогенеруючої установки. Стадія 6 – завершальна, включає монтування верхніх вертикальних опор та верхньої горизонтальної опори.

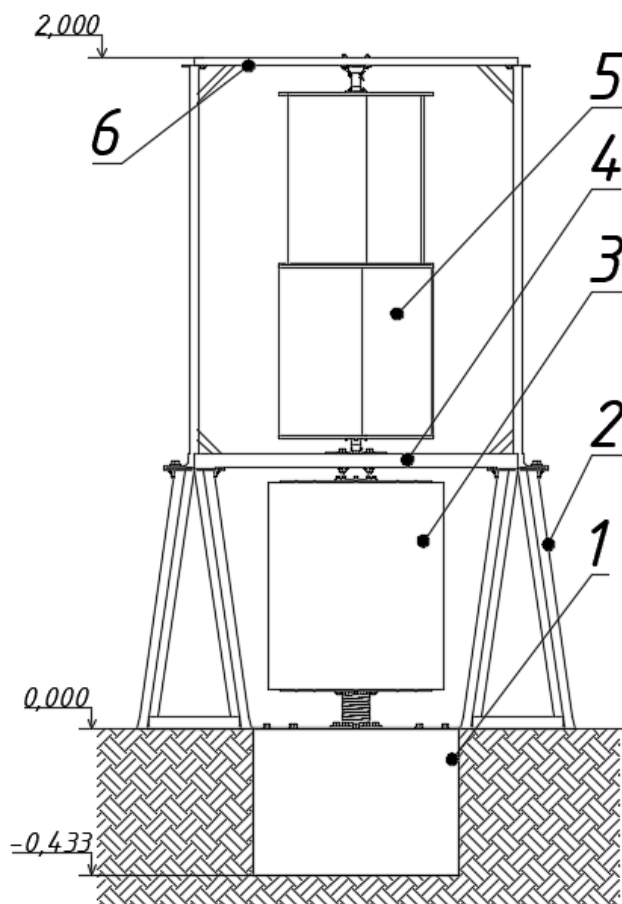


Рисунок 2.52 – Схема монтування конструкції

Як бачимо, завдяки модульній конструкції, монтування виконується лише в декілька етапів. Самі модулі системи виготовляються та складаються у виробничому цеху.

Загальна конструкція у зборі складається з генераторної ємності 6, в якій розміщений електричний генератор зображена на рис. 2.52. Ємність являє собою полу посудину круглого перерізу з кріпленнями для генератора 10. До валу генератора прикріплений ведений шків 12. Крутний момент до веденого шківа передається за допомогою шести пасків 52 від ведучого шківа 11. Шків закріплений на валах за допомогою тапербушів 33.

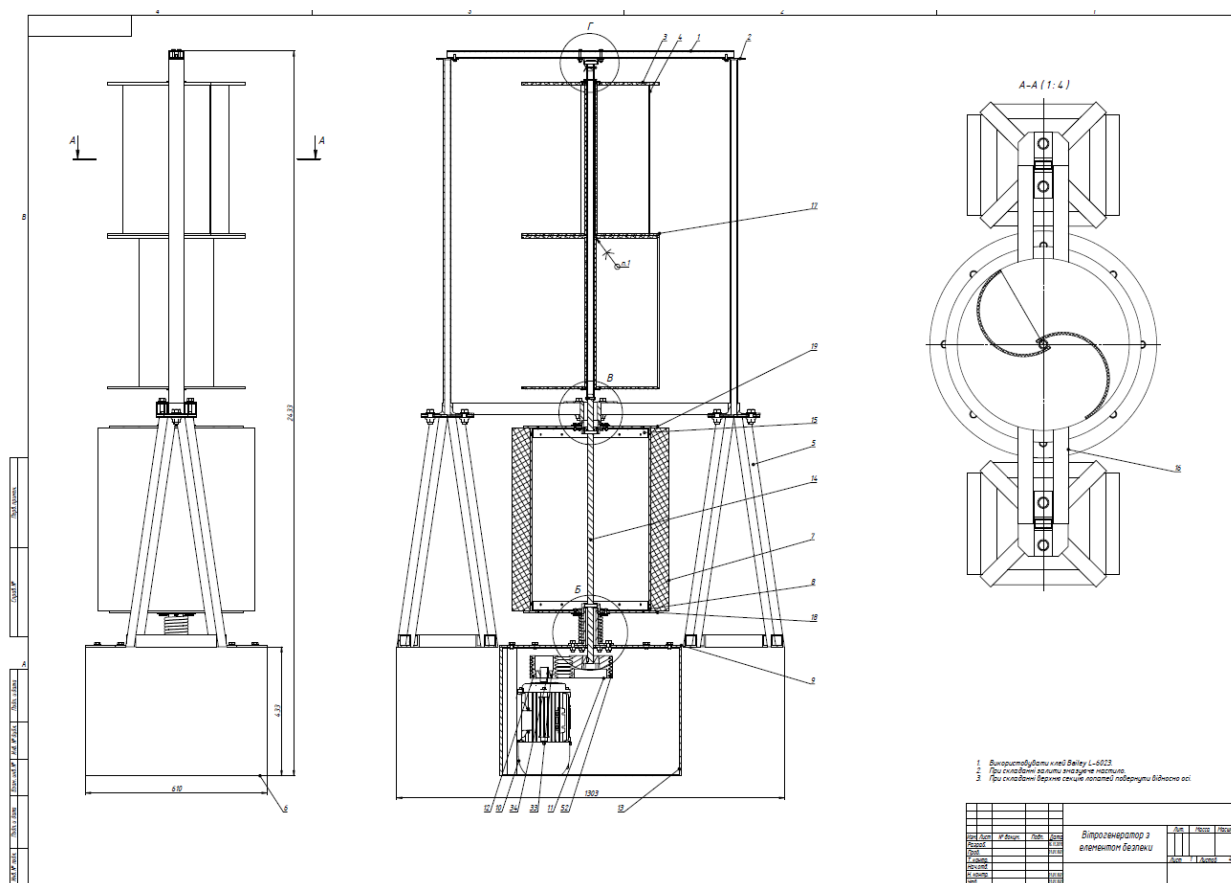


Рисунок 2.53 – Конструкція автомагістрального вітрогенератора з елементом пасивної безпеки

Генераторна ємність накрита люком 9 та закріплена болтами та гайками-заклепками. Увесь цей модуль являє собою підземну частину конструкції.

На люк спирається опорна втулка 22, що зображена на рис.2.54. На опорну втулку з зазором посаджена упорна втулка 20 з радіально-упорним підшипником. Пружина 21 також посаджена на опорну втулку, таким чином, що її вісь співпадає із загальною віссю установки. Кінці пружини зігнуті вздовж осі та посаджені в отвори у втулках. Конструкція вітрогенератора із елементом пасивної безпеки наведена в додатку А.

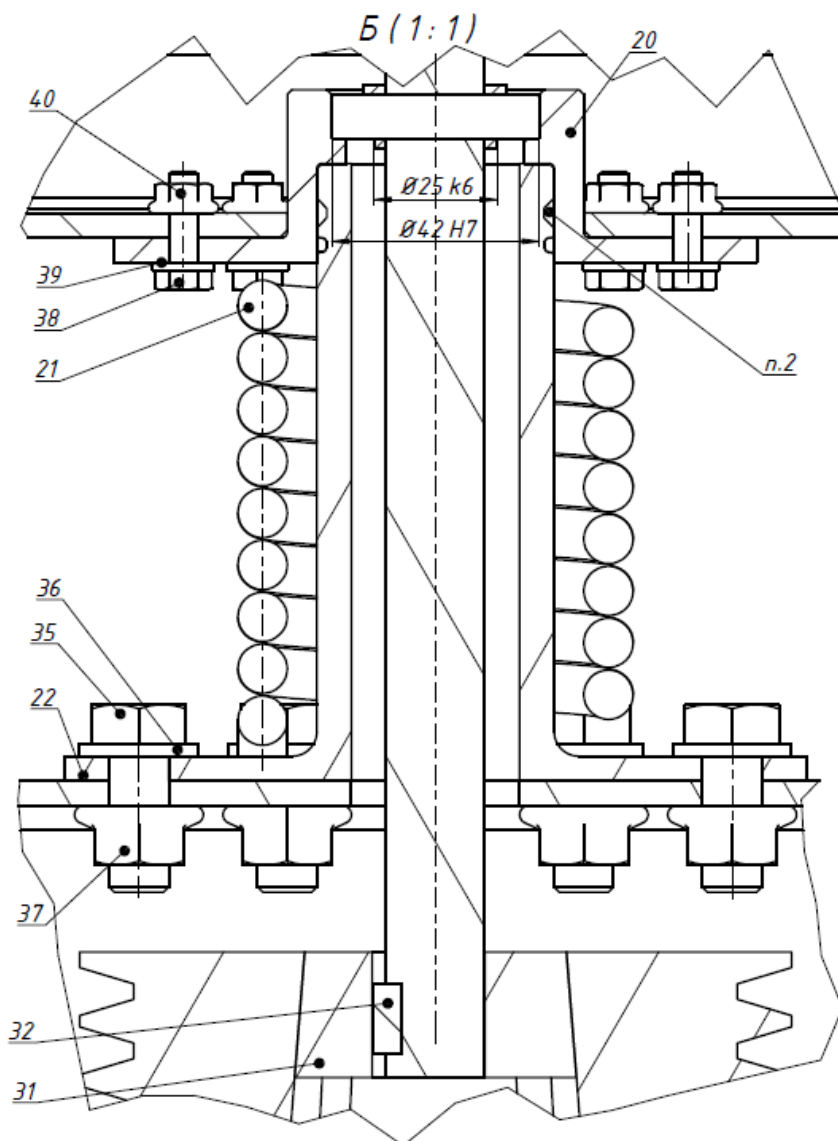


Рисунок 2.54 – Деталь Б конструкції

Опорна втулка кріпиться до люка за допомогою болтів та має виточку для змазуючого мастила.

До упорної втулки кріпиться дно 9 циліндричного елементу безпеки. На дно спирається сталевая труба 8 великого діаметру, з обох боків якої прикріплені кільця 15, які в свою чергу стягують дно, трубу та кришку 19. До труби кріпиться гумовий пружний елемент 7.

До кришки прикріплена упорна різьбова втулка 25, що зображена на рис.2.55. яка також має виточки для змазуючого мастила. Всередину цієї втулки вкручена підшипникова втулка, на яку посаджений підшипник. Підшипникова втулка фіксується в одному положенні стопорною втулкою 26.

Вісь цих елементів підтримується горизонтальною опорою 16 та верхньою опорною втулкою 23. Горизонтальна опора в свою чергу спирається на праву та ліву вертикальні опори 5.

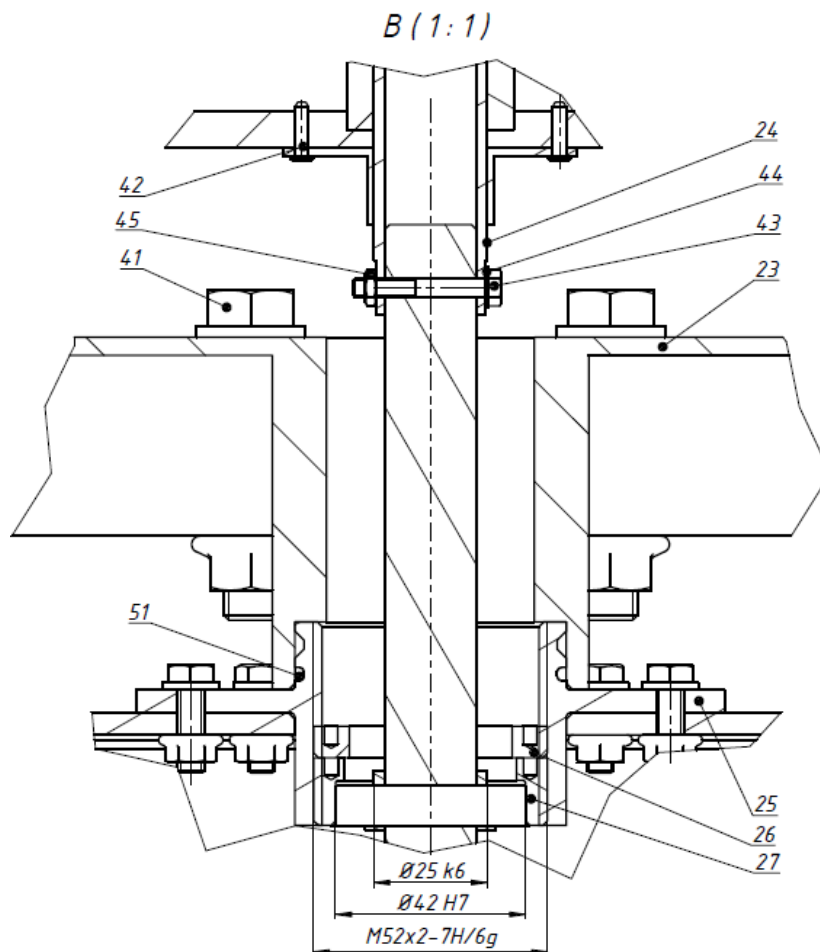


Рисунок 2.55 – Деталь В конструкції

Через вісь втулок і підшипників проходить ведучий вал 14, з одного боку якого закріплений ведучий шків, а до іншого кріпиться вал ротора 24.

До валу ротора кріпляться модулі лопатей, які в свою чергу складаються з лопатей 4 та торцевих плит, склеєних між собою. Лопаті та торцеві плити виготовлені з одного матеріалу – полівінілхлориду (ПВХ). Модулі утримуються в одному положенні на валу фіксаторною втулкою 30.

Вісь ротора кріпиться з іншого боку до торцевого валу 29 за допомогою шплінту 49, що зображений на рис.2.56. На торцевий вал посаджений підшипник кочення 50, і розміщений у підшипниковій втулці 28.

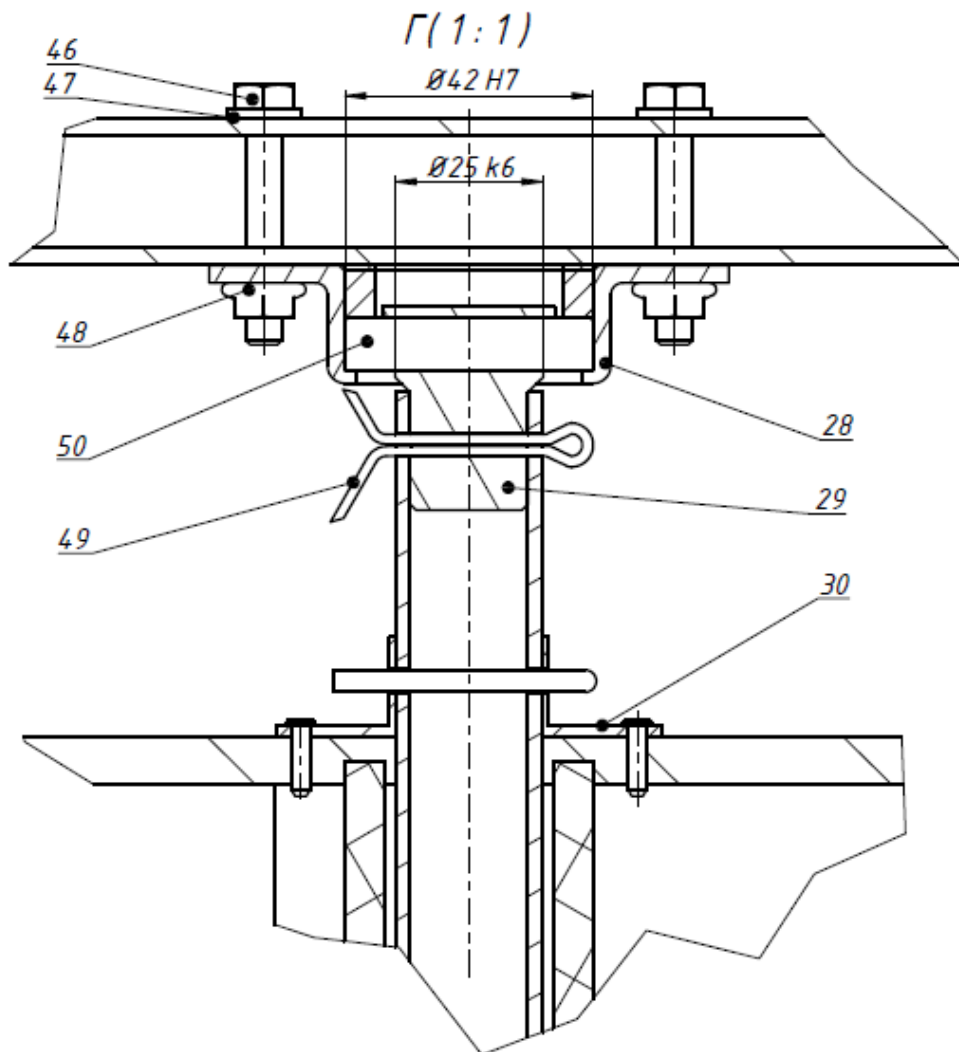


Рисунок 2.56 – Деталь Г конструкції

Уся вісь вітрогенеруючої установки підтримується верхніми вертикальними опорами 2 та верхньою горизонтальною опорою 1.

Усі підшипники посаджені з натягом на вал, оскільки обертання здійснюється саме внутрішнім кільцем підшипника.

Опори конструкції виконані у вигляді зварних конструкцій з листової сталі та електрозварних сталевих профільних труб.

2.7 Висновки по розділу

Отже, для подальшої роботи було подано заявку на патент. В патенті були описані важливі характеристики вітрогенератора із елементом пасивної безпеки, щоб захистити свою інтелектуальну власність.

Під час роботи вирішено декілька питань з приводу конструкції вітрогенератора, а саме: кількість секцій конструкції – 2 секції, габаритні розміри вітрогенератора – висота 1100 мм, діаметр 500 мм, визначено матеріали усієї конструкції, форма лопатей – циліндрична, кількість лопатей – 2 шт., використання дефлекторів, для встановлення вітрогенераторів на узбіччі автомагістраль. Деякі елементи конструкції розраховані як аналітично так і за допомогою комп'юторного симулювання.

На початку роботи над проектом виконано ескізний проект із певними технічними рішеннями.

Аналітично розраховано параметри:

- лопатей;
- вала вітрогенератора;
- підшипників;
- болтових з'єднань;
- клинопасової передачі;
- шпонкового з'єднання на валу.

Отже, після всіх виконаних розрахунків переходимо до розробки технології виготовлення конструкції вітрогенератора та виготовлення макету.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОЕКТУ CARWIND

3.1 Технологія виготовлення верхніх вертикальних опор і верхньої горизонтальної опори

Верхні вертикальні опори і верхня горизонтальна опора підтримують вісь вітрогенератора і мають за основу профільну трубу прямокутного перерізу. Використаємо профільну трубу з параметрами 50x25x3 за ГОСТ 8645-68. Кріпильні отвори у верхній горизонтальній опорі свердлимо на вертикально-свердильному верстаті.

Опорну поверхню для вертикальних опор виготовляємо з листового металу, за допомогою плазмової обробки.

Нижні кріпильні частини виготовляємо з кутника номер 75 за ГОСТ 8509-93 і підрізаємо полиці в заданий розмір.

3.2 Технологія виготовлення ротора вітрогенератора

Ротор вітрогенератора складається з двох лопатевих секцій, валу та допоміжних кріпильних деталей.

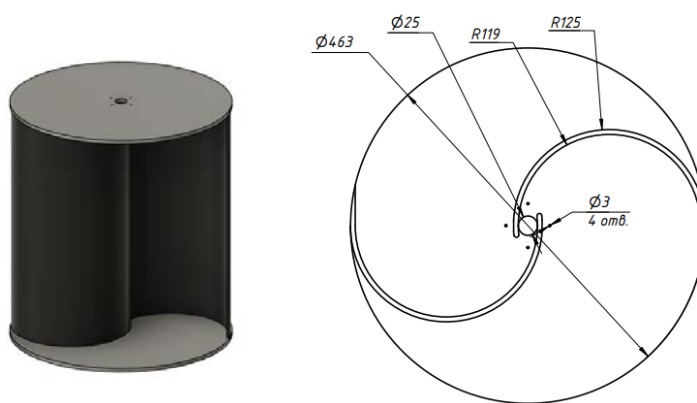


Рисунок 3.1 – Схема торцевої плити

Лопатеві секції виготовляємо з ПВХ труби розрізаної навпіл вздовж осі. Розрізаємо трубу стрічковою пилою. Торцеві плити, що зображені на рис. 3.1

виготовляємо також з ПВХ товщиною 8 мм. Фрезеруємо плити на верстаті з ЧПК в розмір та з пазами для посадки лопатей. За необхідності проводимо балансування за допомогою додаткових деталей. Пази для лопатей на торцевій плити виготовляємо із зазором для рівномірного розтікання клею. В результаті технологія виготовлення лопатевих модулів зображена в табл.3.1:

Таблиця 3.1 – Технологія виготовлення лопатевих модулів

005	Заготівельна операція	Відрізати заготовку (трубу)
010	Відрізна	Розрізати трубу вздовж осі навпіл
015	Багатоцільова	Фрезерувати канавки та контур, свердлити кріпильні отвори
020	З'єднувальна	Склеїти торцеві плити з лопатями

Для склеювання частин модуля використовуємо клей Bailey L-6023. Даний клей використовується для склеювання пластиків, зокрема ПВХ.

Модулі кріпляться до валу ротора за допомогою заклепок. Ротор має опорну поверхню для нижнього модуля. Зверху модулі затискаються фіксаторною втулкою. Між собою модулі склеїти.

Вал ротора являє собою трубу зображено на рис.3.2. Втулка зображена на рис. 3.3. Також має поперечні кріпильні отвори. Труба цільнотягнута із нержавіючої сталі. Операція зварювання проводиться за допомогою аргону.

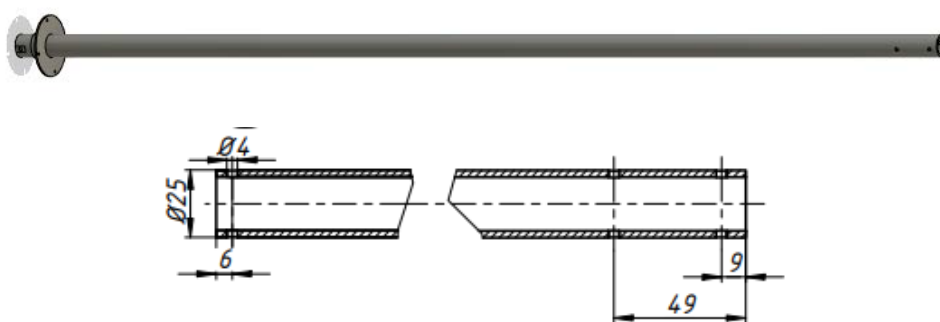


Рисунок 3.2 – Вал ротора

Втулку виготовляємо на токарному верстаті з ЧПК. Посадка двох деталей перехідна $H8/h8$. Технологія виготовлення валу наведена в табл.3.2. Технологія виготовлення втулки наведена в табл. 3.3. З'єднуємо деталі методом зварювання. Зачищаємо шви.

Таблиця 3.2 – Технологія виготовлення валу

005	Заготівельна операція	Відрізати заготовку (трубу)
010	Токарна	Проточити зовнішню посадочну поверхню, зняти фаску
015	Свердлильна	Свердлити кріпильні отвори в трубі

Таблиця 3.3 – Технологія виготовлення втулки

010	Заготівельна операція	Відрізати заготовку (втулка)
015	Токарна	Підрізати торці заготовки втулки
020	Свердлильна	Свердлити центральний отвір втулки
025	Токарна	Проточити центральний отвір
035	Свердлильна	Свердлити кріпильні отвори в трубі

Для виготовлення фіксаторної втули, що зображена на рис.3.3 використовуємо верстат з ЧПК. Спочатку оброблюємо внутрішню поверхню і зовнішню по циліндру, потім свердлимо кріпильні отвори.

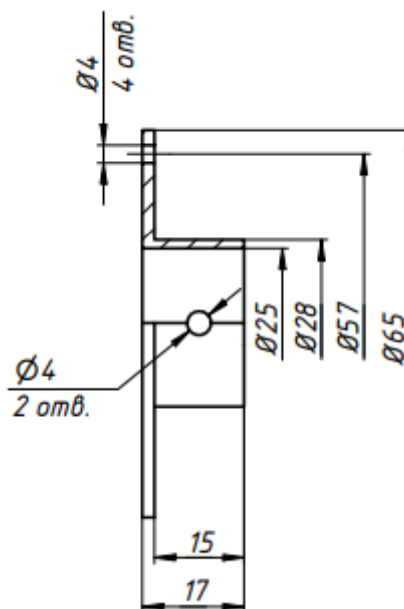


Рисунок 3.3 – Фіксаторна втулка

У результаті технологія виробництва даної втулки наведена в табл.3.4.

Таблиця 3.4 – Технологія виготовлення фіксаторної втулки

005	Заготівельна операція	Відрізати заготовку
010	Токарна	Підрізати торці заготовки втулки
015	Свердлильна	Свердлити центральний отвір втулки
020	Токарна	Точити зовнішню поверхню втулки
025	Свердлильна	Свердлити отвори втулки

Наступна деталь яку містити вітрогенеруюча частина це підшипникова втулка, що зображена на рис.3.4. Вона має внутрішню поверхню для посадки підшипника.

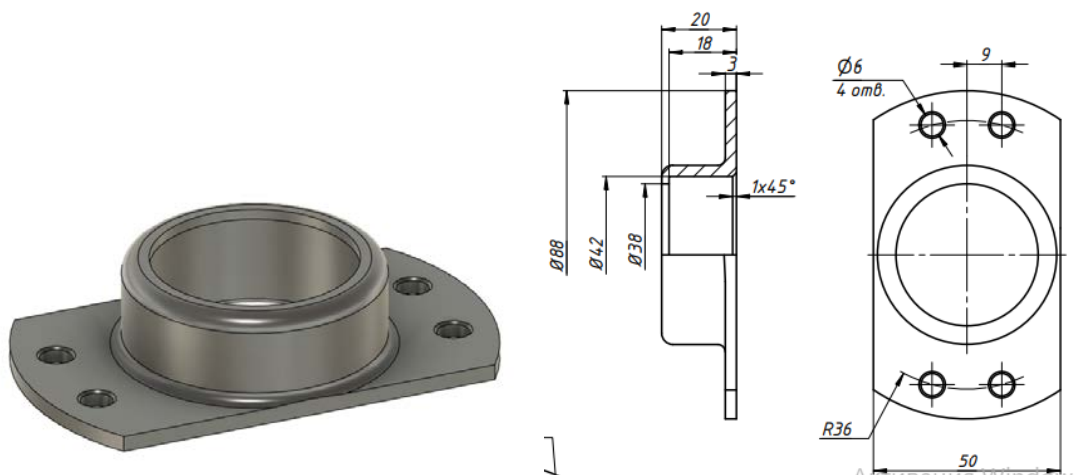


Рисунок 3.4 – Підшипникова втулка

Для виготовлення цієї деталі також використовуємо верстат із ЧПК і тоді технологія виготовлення матиме вигляд, як зображено в табл.3.4.

Таблиця 3.4 – Технологія виготовлення підшипникової втулки

005	Заготівельна операція	Лиття
010	Токарна	Підрізати торці заготовки втулки
015	Свердлильна	Свердлити центральний отвір втулки
020	Свердлильна	Розвердлювати центральний отвір
025	Токарна	Точити внутрішню поверхню втулки
030	Фрезерна	Фрезерувати контур
035	Свердлильна	Свердлити кріпильні отвори

Внутрішнім кільцем підшипник посаджений з натягом на торцевий вал, що зображений на рис.3.5 який у свою чергу з'єднаний шплінтом з валом ротора. Торцевий вал виготовляємо на прутковому токарно-фрезерному двохшпіндельному верстаті з ЧПК.

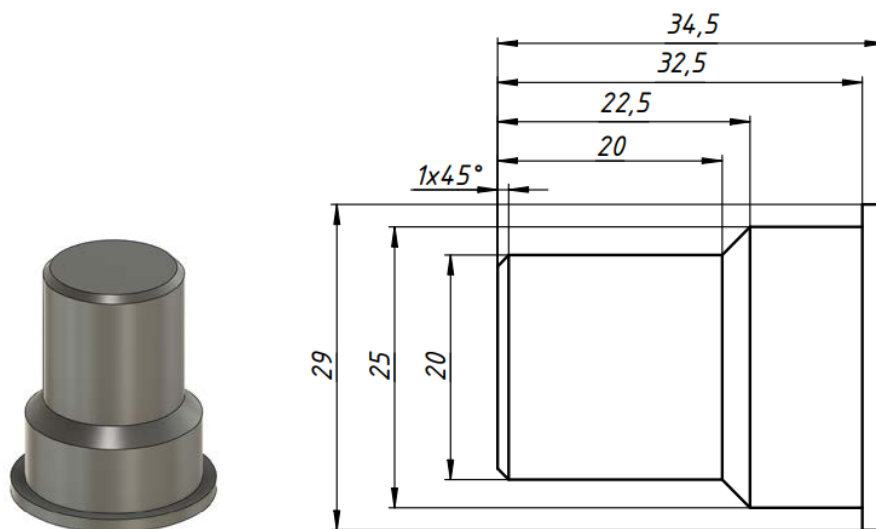


Рисунок 3.5 – Торцевий вал.

Технологія виготовлення торцевого валу наведена в табл.3.5:

Таблиця 3.5 – Технологія виготовлення торцевого валу

005	Токарна	Підрізати торці заготовки
010	Токарна	Точити зовнішню поверхню
015	Свердлильна	Свердлити кріпильний отвір
020	Токарна	Відрізати заготовку

Наступна деталь вітрогенератора – це ведучий вал, що зображений на рис. 3.6. Він виконаний у вигляді прутка, який має шпоночний посадочний отвір і посадочні поверхні для підшипників. Щоб отримати поверхні для посадки підшипників з натягом не будемо оброблювати вал по всій довжині, а приваримо заздалегідь виточені втулки.

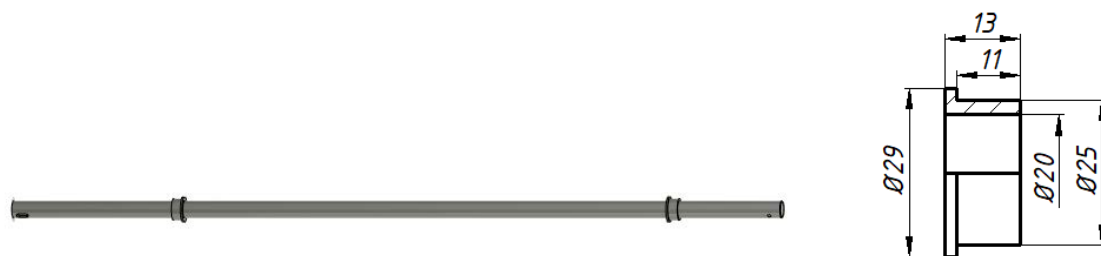


Рисунок 3.6 – Ведучий вал

Технологія виготовлення ведучого валу наведена в табл.3.6.

Таблиця 3.6 – Технологія виготовлення ведучого валу

005	Заготівельна операція	Відрізати заготовку (пруток)
010	Токарна	Точити посадочну поверхню для тапербуша
015	Заготівельна операція	Відрізати заготовки втулок
020	Токарна	Підрізати торці заготовок втулок
025	Свердлильна	Свердлити отвір втулки
030	Токарна	Точити зовнішню поверхню втулки
035	Зварювальна	Зварити втулки з прутком
040	Слюсарна	Зачищення зварних швів

3.3 Виготовлення макету CarWind

Під час розробки технології виготовлення макету автомагістрального вітрогенератора із елементом пасивної безпеки вирішено обрати матеріали та способи виготовлення, які значно дешевші, ніж під час виготовлення робочого зразку для здешевлення конструкції.

Спочатку були виготовленні лопаті вітрогенератора, що зображені на рис.3.7. Під час виготовлення лопатей для макету вітрогенератора використовували верстат вальцювальний ручний Stalex W01-0.8x2050. Вальцювання проводилось в 6 етапів, для отримання потрібної форми лопатей. Матеріал лопатей: алюмінева композитна панель [82]. Композитні панелі на основі алюмінію являють собою два алюмінієвих листа і прошарок між ними із пластика або мінерального матеріалу.



Рисунок 3.7 – Лопаті для макету

Були виготовлені верхня та нижня плита для елемента пасивної безпеки, що зображені на рис. 3.8. Під час виготовлення були профрезеровані пази в деталі, для зменшення ваги виробу. Матеріал виробу: фанера ФК18.



Рисунок 3.8 – Верхня та нижня плита для елемента пасивної безпеки

Під час наступного кроку виготовлення макету вітрогенератора із елементом пасивної безпеки – виготовлено бічні стійки із дерев'яного бруса 40х40 мм, що зображені на рис. 3.9. Бічні стійки були прошліфовані стрічковою шліфмашиною Bosch PBS 75 AE. Процес зображений на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Бічні стійки та процес шліфування

Наступним етапом було виготовлення верхньої рами елемента пасивної безпеки та з'єднання рами із бічними стійками, що зображено на рис.3.10. З'єднання здійснювалось за допомогою металевих кутників та саморізів.



Рисунок 3.10 – Верхня рама елемента безпеки та бічні стійки вітрогенератора

Наступним етапом вирішено з'єднати лопаті із валом вітрогенератора. Труба сталева електрозварна Ø25 мм. Виріб зображений на рис.3.11.



Рисунок 3.11 – Вал вітрогенератора та лопаті

Наступним кроком буде виготовлення макета елемента пасивної безпеки. Кінцевий варіант зображений на рис.3.12 справа. Під час виготовлення каркасу із

сталевому листу товщиною 0,8 мм використовували кутники та заклепки. В якості гумового демфуючого елемента використовували 3 покритишки типу



Рисунок 3.12 – Виготовлення елемента пасивної безпеки

Кінцевий вигляд макету автомагістрального вітрогенератора із елементом пасивної безпеки зображений на рис.3.13.



Рисунок 3.13 – Виготовлення елемента пасивної безпеки

3.4 Висновки по розділу

В даному розділі були розглянути різні варіанти виготовлення деталей, які присутні в конструкції автомагістрального вітрогенератора із елементом пасивної безпеки.

Створено технологію виготовлення деталей: верхніх вертикальних опор і верхньої горизонтальної опори, лопатевих модулів, валу, фіксаторної втулки, підшипникової втулки, торцевого валу, ведучого валу. Розглянули як виготовити певні елементи конструкції за допомогою 3d-принтера. Дослідити час, який потрібен для друку деталей та кількість матеріалу. Надрукували три деталі із різьбовим з'єднанням.

Створено перший макет автомагістрального вітрогенератора із елементом пасивної безпеки для наочного розуміння конструкції. Функціонал в порівнянні із робочою моделью суттєво обмежений. Макет виготовляли із недорогих матеріалів та використовували прості інструменти для зменшення собівартості макету.

В подальшому планується використовувати макет для досліджень в аеротрубі та в представленні його інвесторам.

РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ CarWind

На сьогоднішній день стартап-проекти досить популярні як в Україні, так і в усьому цивілізованому світі. Ключовими перевагами стартап-проекту є мобільність, гнучкість та присутність конкуренції. Саме через ці моменти стартап-проекти можливо і потрібно створювати, аналізувати та реалізувати в Україні. В свою чергу стартап-проект має суттєвий недолік, а саме - підвищена міра ризиків. [24]

Центральним завданням стартап- проекту є маркетинговий аналіз перспектив реалізації науково-технічного рішення та пропозиції, оцінювання можливостей його ринкового впровадження.[24]

“Одним із основних засобів подолання кризових явищ в країні може стати впровадження у його діяльність інновацій. Відомо, що саме інновації забезпечують динамічно стійкий ріст економічних показників, застосування передових технологій, освоєння і випуск нової конкурентоспроможної продукції, вихід на світові ринки товарів та послуг”[83]

“Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів” [24]

4.1 Опис ідеї проекту

Потрібно проаналізувати проект WindCar, як стартап-проект задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження. За основу проекту взято вертикальний вітрогенератор із пасивним елементом безпеки для використання на автомагістралях. Даний концепт відрізняється від своїх конкурентів наявністю елемента пасивної безпеки та низькою ціною у виробництві. Цей продукт дасть

змогу генерувати електроенергію завдяки потокам повітря, що надходять від автомобіля під час руху та підтримувати безпеку під час руху на автомагістралях. Даний вітрогенератор зацікавить користувача своєю низькою ціною в порівнянні їх конкурентами та змогою автономно користуватись електроенергією. Опис ідеї стартап-проекту наведений в табл. 4.1. Напрямки застосування обрано із мозкового штурму.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Основою ідеєю є проектування і розроблення вітрогенератора, який буде використовуватись на автомагістралях,	Використовувати для генерування електроенергії та в подальшому автономно використовувати. Використовувати: для живлення автозаправних станцій, використовувати для підігріву дорожнього покриття в зимовий час, використовувати для освітлення автошляхів, використовувати для живлення світлофорів, використовувати для встановлення реклами на вітрогенератор, використовувати як резервне джерело енергії	Автономне та екологічне джерело енергії, зникає проблема в транспортуванні електроенергії, виникає додаткове місце для встановлення реклами, дозволяє зекономити кошти, відносна дешевизна
Елемент пасивної безпеки, який використовувати разом із вітрогенератором	Використовувати: для зменшення сили удару та змінення напрямку удару автомобіля, для сповіщення про ДТП на автомагістралях, використовувати для встановлення реклами на елемент безпеки	Підвищує безпеку руху на автомагістралях, виникає додаткове місце для встановлення реклами, відносна дешевизна, дозволяє використовувати покрішки

Для аналізу стартап-проекту потрібно проаналізувати продукти та рішення конкурентів. Поділимо якості кожного із рішень на три групи: слабкі (W), нейтральні (N) та сильні (S). Серед конкурентів оберемо варіанти із розділу 1.5.1: перший конкурент - Venger Wind V300 Ver1.3 [20], другий конкурент - Helixwind S594 [21], третій конкурент - Enlil Deveci Tech [17].

В табл. 4.2 наведені слабкі, нейтральні та сильні сторони власного проекту CarWind та проектів конкурентів. Із таблиці видно, якими позитивними якості володіє проект CarWind, а саме вартість продукту та ремонту, розмір та елемент пасивної безпеки. Саме через ці якості даний продукт є конкурентноспроможним.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних сторін проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів			
		Проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3
1	Вартість продукту	S	W	W	N
2	Вартість ремонту та обслуговування	S	W	W	N
3	Розміри	S	W	W	S
4	Потужність	N	S	S	N
5	Рівень шуму	N	N	N	N
6	Швидкість встановлення	S	N	N	W
7	Естетичність	W	S	S	S
8	Наявність елемента пасивної безпеки	S	-	-	-
9	Система гальм	-	S	N	-
10	Необхідна швидкість для початку роботи	S	W	W	N

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Проведення аудиту технології є важливим етапом аналізу стартап-проекту, тому що наявність і доступність технологій характеризує реалізований проект чи ні. Потрібно виділити декілька ідей проекту та можливість їх реалізації. Дані наведені в табл. 4.3. Головними задачами під час виготовлення автомагістрального вітрогенератора із елементом пасивної безпеки є: зниження вартості продукту за рахунок використання недорогих деталей та недорогих технологій під час виготовлення, забезпечення швидкості та мобільності під час монтажу, вирішення проблеми еластичності елемента пасивної безпеки.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
1	Простий монтаж елемента безпеки	Використання швидкороз'ємних з'єднань	+	+
2	Варіативність діаметрів покришок	Створення перехідних деталей	+	+
3	Використання дефлектора	Закупівля сталевго листа	+	+
4	Варіативність напрямку лопатей	Використання універсальних деталей та з'єднань	+	+
5	Модульна структура	Використання швидкороз'ємних універсальних деталей та з'єднань	+	+
6	Електроенергетична складова проекту	Закупівля необхідного комплекту деталей, генератора, інверторів та ін.	+	-
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: усі технології наявні на ринку, але електроенергетична складова проекту недоступна команді				

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

“Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.”[24]. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту CarWind наведена в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показник стану ринку(найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	14
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	-
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Обмеження можуть виникати через політичні погляди країни на використання відновлювальних джерел енергії
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Огородження дорожні і напрямні пристрої. ДСТУ 2735-94[27]
6	Середня норма рентабельності	9 %

Далі потрібно визначити потенційних клієнтів стартап-проекту CarWind, що наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія(цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Безпека на автомагістралях	Приватні підприємці великого бізнесу(автозаправні станції та ін.), приватні підприємці середнього бізнесу (придорожні розважальні центри та промислові об'єкти), державні посадовці міністерства інфраструктури	Сумніви у надійності конструкції	Надійна конструкція та швидкий ремонт і монтаж
2	Генерування електроенергії		Невпевненість щодо міцності конструкції	Достатня потужність та надійність елементів конструкції
3	Автономність		Стабільність та ефективність роботи	Надійність витратного матеріалу, якість електроенергетичних складових конструкції
4	Розміщення реклами		Естетика	Реакція глядачів
5	Покращення та створення нових технологій виробництва вітрогенераторів із елементами пасивної безпеки	Виробники вітрогенераторів або виробники елементів пасивної безпеки	Можливість швидкого монтажу або ремонту. Здешевлення технологічних процесів	Дотримання всіх стандартів та гарантія на певний експлуатаційний термін

“Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають”[24]. Фактори загроз наведені в табл. 4.6. Фактори можливостей наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Виробники із великими можливостями	Створення нових технологій та ідей. Підвищення якості виробу
2	Фінансування проекту	Недостатня кількість коштів для використання сучасних технологій	Виготовлення робоча зразка та підготовка дорожньої карти для інвестора
3	Реклама проекту	Недостатня кількість коштів для проведення рекламної компанії	Пошук інвестора для ефективного розповсюдження ідеї, вибір вірного місця розміщення реклами
4	Дизайн виробу	Не естетичний вигляд проекту	Використання більшої кількості коштів під час розробки зовнішнього вигляду виробу
5	Мала ефективність	Через малу ефективність можлива триваліша окупність виробу	Використання сучасних технологій, використання декількох одиниць одночасно
6	Рівень шуму	В залежності від кількості встановлених одиниць – рівень шуму може зростати	Використання сучасних технологій. Використання виробу на віддалених територіях від скупчення людей
7	Можливість встановлення на автомагістралях	Зміна стандартизації або вимог до встановлення на автомагістралях	Шкідка реакція на зміни в стандартизаціях, можлива зміна габаритнів розмірів.

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Міжнародний ринок	Зацікавленість міжнародного споживача	Дозволить використовувати сучасні технології та збільшить комерціалізацію проекту
2	Збільшення продажів, популярності	Ріст попиту на екологічні вироби	Дозволить розширити модельний ряд та збільшити виробничі потужності
3	Створення нових технологій та рішень	Залучення міжнародних дослідницьких центрів та створення власної аеротруби для дослідів	Дозволить знизити вартість виробу, підвищити ефективність та естетичність.
4	Розширити можливості використання в інших типах інфраструктури	Можливість використання на мостах, залізничних шляхах, на будівлях тощо.	Розвернути великомасштабну рекламну компанію в Україні та в розвинутих країнах світу. Збільшення виробничих потужностей

Щоб продовжити аналіз стартап-проекту потрібно виконати ступеневий аналіз конкуренції на ринку, що включає особливості конкурентного середовища та вплив особливості на діяльність підприємства. Дані наведені в табл. 4.8

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	Монополістична “Монополістична конкуренція - це така ринкова ситуація, за якої відносно велика кількість невеликих виробників пропонують схожу, але не ідентичну продукцію”. [84]	Визначити своє місце на ринку за рахунок унікальності встановлення та помірно низької ціни. Конкурентів в Україні немає, але є закордонні виробники
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний/...	Міжнаціональний. Через те що, конкуренти – це виробники із інших країн.	Зацікавленість міжнародного споживача в екологічному вітрогенераторі
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева	Внутрішньогалузева. Через те що виріб використовується тільки в одній галузі	Покращення інженерно-економічних характеристик
4. Конкуренція за видами товарів:- товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	Товарно-родова. Через те що можливо задовольняти декілька різних потреб споживача	Залучення усіх типів споживачів і задоволення усіх потреб
За характером конкурентних переваг- цінова / нецінова	Нецінова/цінова. Головною перевагою є елемент пасивної безпеки, але ціна також нижча ніж у конкурентів	Удосконалити усі переваги вітрогенератора та створити приємну ціну для споживача
За інтенсивністю- марочна/не марочна	Марочна. Через те що продукт унікальний і комбінація різних функцій повинні стати впізнаваними рисами CarWind	-

Щоб виконати більш детальний аналіз конкуренції потрібно використовувати технологію аналізу конкуренції в галузі за М. Портером. Дані наведені в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Виробник вертикальних вітрогенераторів для автомагістралей: Enlil Devcsi Tech [17].	Виробники вертикальних вітрогенераторів: Venger Wind [20], Helixwind [21],	Міжнародний ринок	Прогресивний розвиток альтернативних джерел енергії та використання їх в різних локаціях
Висновки	Удосконалення конструкції та впровадження нових технологій	Створення можливий модифікацій для використання вітрогенераторів на автомагістралях	Обрано ринок Китаю, Європейського союзу через кращу платоспроможність та зацікавленість в альтернативних джерелах енергії	Неможливість конкурувати в багатофункціональності вітрогенераторів із елементами пасивної безпеки

Дані обґрунтування факторів конкурентоспроможності «CarWind» наведені в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Наявність елемента пасивної безпеки	Наявність даного елемента дозволить суттєво підвищити функціональність проекту
2	Низька вартість	Одним із ключовим фактором, для вибору вітрогенератора є термін окупності. Чим нижча ціна – тим швидше виріб окупиться
3	Модульність конструкції	Через дану конструкцію можливий швидкий монтаж та ремонт виробу на автомагістралях
4	Технічна інновація в Україні	На сьогоднішній день в Україні відсутні виробники вітрогенераторів із елементами пасивної безпеки для автомагістралей
5	Безпека	За рахунок симбіозу вітрогенератора та елемента пасивної безпеки підвищується безпеки під час руху на автомагістралі
6	Недостатня якість матеріалів	Конкуренти використовують якісні матеріали, які мають кращі характеристики
7	Рекламоспроможність	Можливість встановлення великої кількості реклами

Щоб продовжити аналіз стартап-проекту потрібно виконати порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «CarWind». Дані аналізу наведені в табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «CarWind»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товару Enlil Devesi Tech [17]а у порівнянні з CarWind						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність елемента пасивної безпеки	18	+						
2	Низька вартість	17		+					
3	Модульність конструкції	15			+				
4	Технічна інновація в Україні	18	+						
5	Безпека	13			+				
6	Недостатня якість матеріалів	6							+
7	Рекламоспроможність	10				+			

“Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, що зображений в табл.4.12 (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін .”[24]

Таблиця 4.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Низька вартість 2. Екологічність 3. Автономність 4. Модульна структура 5. Елемент пасивної безпеки 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Недостатнє фінансування 2. Дозвіл на розміщення 3. Неякісні матеріали
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Міжнародне співробітництво 2. Наявність шляхів популяризації відновлювальних джерел енергії 3. Залучення дослідницьких інститутів 4. Створення автономних автомагістралей 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Естетичність 2. Пошук інвестицій 3. Впровадження сирійного виробництва 4. Бюрократія 5. Економічні криза 6. Неготовність ринку до інноваційних ідей

“На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.”[24]. Дані наведені в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю Цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт, %	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту), од/рік	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Власники великого бізнесу (автозаправні станції)	85	1200	-	Середня
2	Власники середнього бізнесу (придорожні розважальні центри та промислові об'єкти)	65	700	-	Середня
3	Власники малого бізнесу (придорожні кафе та ресторани)	35	200	-	Складно
4	Державні посадовці міністерства інфраструктури	50	4000	-	Середня
Які цільові групи обрано: Обрано дві цільові групи: власники великого бізнесу та державні посадовці міністерства інфраструктури через високий відсоток готовності та орієнтований попит					

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Для того, щоб розпочати розроблення ринкової стратегії проекту потрібно визначитись із базовою стратегією розвитку проекту. Обрані альтернативи розвитку проекту, стратегії охоплення ринку, ключові конкурентоспроможні позиції та базова стратегія розвитку вказані в табл. 4.14.

Таблиця 4.14 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Впровадження нових технологій та нових ідей використання додаткових функцій автомагістрального вітрогенератора	Охоплення ринку за рахунок інноваційного проекту та поступового охоплення усіх можливий клієнтів	Підвищується довіра до марки CarWind та збільшується кількість замовлень. Розширюється модельний ряд	Спеціалізації

Дані, щодо визначення базової стратегії конкурентної поведінки наведені в табл. 4.15

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Якщо розглядати вертикальний вітрогенератор для автомагістралей в Україні – тоді так, якщо в Світі – тоді ні (в Туреччині вже існує подібний стартап)	Компанія буде розвиватись та шукати нових споживачів	Копіювання не буде, але можливе запозичення елементів дизайну	Стратегія заняття конкурентної ніші
2	Якщо розглядати вертикальний вітрогенератор для автомагістралей із елементом пасивної безпеки в Україні і Світі подібних проектів немає.	Компанія буде розвиватись та шукати нових споживачів	Копіювання не буде, але можливе запозичення елементів дизайну	Стратегія заняття конкурентної ніші

“На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.” [24]. Дані наведені в табл. 4.16.

Таблиця 4.16 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто- спроможні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Наявність елемента пасивної безпеки	Диференціації	+	+
2	Низька вартість	Спеціалізації	+	+
3	Модульність конструкції	Диференціації	+	+/-
4	Технічна інновація в Україні	Диференціації	+	+
5	Безпека	Спеціалізації	+	+/-
6	Якість матеріалів	Спеціалізації	-	-
7	Рекламоспроможність	Спеціалізації	-	-

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для того, щоб розпочати розробку маркетингової програми стартап-проекту потрібно визначити ключові переваги концепції потенційного товару. Дані наведені в табл. 4.17.

Таблиця 4.17 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити
1	Наявність елемента пасивної безпеки	Збільшує функціонал виробу	Наявність даного елемента
2	Низька вартість	Швидка окупність виробу	Найнижча ціна на ринку
3	Модульність конструкції	Виникає можливість швидкого ремонту, монтажу або заміни певних модулів конструкції	Наявність модульної конструкції
4	Технічна інновація в Україні	Дозволить отримати більшу кількість споживачів	Присутність на ринку
5	Безпека	Дозволить підвищити безпеку на автомагістралях	Симбіоз вертикального вітрогенератора із елементом пасивної безпеки

Наступним кроком буде опис трьох рівнів моделей товару. Існує декілька рівнів: товар за задумом, товар у реальному виконанні, товар із підкріпленням. Опис наведений в табл. 4.18.

Таблиця 4.18 – Опис трьох рівнів моделей товару

Рівні товару	Сутність та складова		
1. Товар за задумом	Надійний, дешевий та екологічний вертикальний вітрогенератор із модульною конструкцією, в якого в конструкції присутній елемент пасивної безпеки		
2. Товар у реальному виконанні	Властивості характеристики	В/нВ	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Наявність елемента пасивної безпеки	1. В	1. Б
	2. Низька вартість	2. В	2. Е
	3. Модульність конструкції	3. В	3. Тх/Тр
	4. Якість матеріалів	4. В	4. Е/Нд
	Якість: ДСТУ 2735-94. Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила використання. Вимоги безпеки дорожнього руху.[27]		
	Пакування: стрейч-плівка із гофрованим картон		
	Марка: Автомагістральний вітрогенератор із елементом пасивної безпеки “CarWind”		

	
Товар із підкріпленням	До продажу: Якість та надійність товару. Паспорт виробу та сертифікація
	Після продажу: Гарантійний талон, технічне обслуговування протягом 1 року
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від підроблення: патент на винахід, патент на торгову марку	

“Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів. Аналіз проводиться експертним методом.”[24]. Дані наведені в табл. 4.19.

Таблиця 4.19 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	3000 \$	2800 \$	Високий	Ціна на товар: Мінімальна :1000 \$ Максимальна: 1500 \$

Щоб продовжити аналіз стартап-проекту потрібно сформувати систему збуту. Дані наведені в табл. 4.20.

Таблиця 4.20 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функція збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Масова	Продаж та монтаж системи	Однорівневий канал збуту	Дистрибуція

“Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.21).”

Таблиця 4.21 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користується клієнт	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Вибагливі до якості виробу, надійності кріплень та швидкості монтажу	Веб-сторінка компанії, менеджер з продажу продукції, соціальні мережі, поверхнева реклама	Якість, енергоефективність, естетичність, надійність	Надати споживачеві конкретну інформацію з приводу енергоефективності вітрогенератора та безпеки використання елементи пасивної безпеки	Твій рух – твоя енергія! (Енергія твого руху!)

4.6 Брендінг

Особливість робить вас унікальними. Ідентичність бренду відрізняє вас від усіх інших компаній. Логотип та назва це те, що ідентифікує вашу компанію та виробу. Через логотип та назву компанія створює вірний образ своєму споживачеві. Бренд – це сприйняття компанії в очах світу.

Ідентичність вашоног бренду – це те, що робить вас миттєво впізнаваними для своїх споживачів. Потрібно створити таку назву і логотип, який допоможе споживачеві відразу зрозуміти, що ви виробляєте та для чого це потрібно.

Коли ми розробляли назву компанії потрібно було обрати декілька слів, які відразу асоціюються із автомагістральний вітрогенератором. Через те що ми орієнтуємось на міжнародний ринок потрібно розробити назву на англійській мові. Після обговорення декількох варіантів було вирішено обрати назву компанії “CarWind Energy”, що відразу асоціюється із потоками вітру від руху автомобіля та енергією. Пілотний виріб отримав назву співзвучну із назвою компанії – “CarWind”.

Після того, як назва компанії розроблена потрібно вирішити питання із логотипом. При створенні логотипа важлива форма логотипа, шрифт, колористика. Під час обговорення різних варіантів логотипу, було сформовано групу людей, які обговорювали та вказували на певні неточності. Під час мозкового штурму участь приймали студенти групи МІ-82мп НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. Для обговорення було представлено декілька варіантів, що зображені на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Варіанти логотипів

Як видно із варіантів форму обирали, щоб асоціювалась із темою проекту. Серед усіх варіантів було вирішено, що колористика логотипу було обрана із варіанту 8, тому що такий ніжний колір асоціюється із легкістю, із небом та вітром. Вирішено розробити власний шрифт, із елементом виделки для електронних пристроїв замість букви “Y” через свою схожість. Форма логотипу групі сподобала під номером 6, але це вид горизонтального вітрогенератора. Головним елементом

логотипу є переріз або вигляд зверху на вертикальний вітрогенератор, який є головним типом вітрогенеторів, що використовують на автромагістралях. Остаточний варіант логотип зображений на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Остаточний логотип компанії

4.7 Висновки по аналізу стартап-проекту

Після виконання аналізу, можливо зробити висновок, що :

- є можливість ринкової комерціалізації проекту на Європейському ринку. Присутній попит на альтернативні джерела із інноваційними ідеями. Динаміка ринку вітрогенераторів зростає. Рентабельність даного проекту знаходиться на досить високому рівні;

- присутні перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, а саме: власники великого бізнесу та державні посадовці міністерства інфраструктури. Конкуренція на українському ринку відсутня, присутній один потенційний конкурент на міжнародному ринку. Продукт виявився конкурентоспроможний;

- подальша імплементація проекту є доцільною. Презентація проекту зображена в додатку Б.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Після вивчення потенціалу відновлювальної енергетики в світі, можна зробити висновок, що даний вітрогенератор буде доцільний у використанні на автомагістралях. Дана робота є перспективною, тому що з кожним роком екологічний спосіб генерування електроенергії набирає популярність.

Досліджено різні типи вітрогенераторів та проаналізовано усі переваги та недоліки кожного із них. Проаналізовані передові технічні рішення в галузі, та виявлено, що даний вітрогенератор із елементом пасивної безпеки не має аналогічних винаходів. Відрізняється своєю конструкцією, а саме поєднання елемента пасивної безпеки та вітрогенератора. Обрано середовище моделювання вітрових потоків. Проводився мозковий штурм для вирішення питань із розміщенням та функціональністю.

Було вирішено проблему використання повітряних потоків на автомагістралях за рахунок створення конструкції вітрогенератора, який дозволяє ефективно використовувати енергію вітру. Був розроблений пошуковий ескіз загального виробу, розміщення виробу та окремо вітрогенератора. Була подана заявка на патент(на винахід) із унікальною конструкцією для використанні на автомагістралях.

Було аналітично розраховано потрібно кількість лопатей. Обрано форму перерізу лопатей, кількість ступенів, тип торцевої плити, форму дефлектора. Проведено CFD-аналіз конструкцій: із різною кількістю лопатей, із різною кількістю ступенів, із спіральною формою лопатей, із дефлектором.

Було аналітично розраховано потрібні параметри валу вітрогенератора, підшипників, болтового з'єднання, генератора, клинопасової передачі та шпонкового з'єднання. Розроблено схему швидкого монтування виробу.

Була розроблена технологія виготовлення деталей: торцевої плити, вал ротора, фіксаторної втулки, підшипникової втулки, торцевого валу та ведучого валу. Створено макет виробу для подальшого дослідження.

За результатами досліджень проведено ринковий аналіз та брендінг виробу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковальов І., Ратушний О. Альтернативні джерела енергії України: навч. посіб // Суми: Вид-во СумДУ. – 2015.
2. Wind power basics: a green energy guide. / Chiras D.: New Society Publishers, 2010.
3. Автобан "Гданськ-Одеса": дорога до Ельдорадо чи шлях в нікуди? : [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://lvivski.in.ua/news/avtoban-gdansk-odesa-doroga-do-eldorado-ci-slah-v-nikudi> (дата звернення: 06.04.2019)- Назва з екрану.
4. Tian W., Mao Z., Li Y. Numerical Simulations of a VAWT in the Wake of a Moving Car // Energies. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 478.
5. УВЕА. Українська вітроенергетична асоціація: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: www.uwea.com.ua (дата звернення: 07.04.2019)- Назва з екрану.
6. Energy Storage is a \$620 Billion Investment Opportunity to 2040: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-620-billion-investment-opportunity2040/> (дата звернення: 10.04.2019)- Назва з екрану.
7. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего. / Родионов В.: Litres, 2018.
8. History of Wind Turbines: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.renewableenergyworld.com/2014/11/21/history-of-wind-turbines/> (дата звернення: 05.04.2019)- Назва з екрану.
9. Wind and solar power systems: design, analysis, and operation. / Patel M. R.: CRC press, 2005.
10. У США створять найбільший у світі вітрогенератор: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://ruslo.info/uk/tehnologiyi/u-ssha-stvoryat-najbilshij-u-sviti-vitrogenerator/> (дата звернення: 04.04.2019)- Назва з екрану.

11. Danish Wind Turbine Manufacturers Association, "Guided tour on wind energy": [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <http://www.windpower.org> (дата звернення: 24.04.2019)- Назва з екрану.
12. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер Н., Ципленков Д. Основи вітроенергетики: підручник // Book Основи вітроенергетики: підручник / Editorвидавництво НГУ, 2015.
13. FLOW DESIGN: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.autodesk.com/education/free-software/flow-design> (дата звернення: 15.04.2019)- Назва з екрану.
14. Simulation software reinvented for the web: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.simscale.com> (дата звернення: 17.04.2019)- Назва з екрану.
15. SOLIDWORKS Flow Simulation: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-flow-simulation> (дата звернення: 18.04.2019)- Назва з екрану.
16. FlowVision: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://flowvision.ru/ru/> (дата звернення: 19.10.2019)- Назва з екрану.
17. This Week in CFD: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://blog.pointwise.com/2014/01/17/this-week-in-cfd-139/amp/> (дата звернення: 20.04.2019)- Назва з екрану.
18. What is Driving the Shift Towards Cloud-Based CFD and FEA Simulation? : [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://spectrum.ieee.org/computing/software/what-is-driving-the-shift-towards-cloudbased-cfd-and-fea-simulation> (дата звернення: 21.04.2019)- Назва з екрану.
19. DAVINCI has great expertise in Flow Simulation: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.davinci.dk/davinci-has-great-expertise-in-flow-simulation.html?lang=en> (дата звернення: 22.10.2019)- Назва з екрану.
20. V3 MICRO 300 Watts: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу:

<http://www.imacutec.com/downloads/Venger%20Wind%20V300%20Ver%201.3.pdf>

(дата звернення: 10.04.2019)- Назва з екрану.

21. HELIXWIND. MODEL S594 [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу:

<http://swepinc.com/pdf/Wind%20Turbines/Vertical%20Axis%20Wind%20Turbines/Helixwind%20S594.pdf> (дата звернення: 11.04.2019)- Назва з екрану.

22. Deveci Tech's vertical wind turbine uses traffic to generate electricity: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.redplanet.green/deveci-tech-vertical-wind-turbine/> (дата звернення: 13.04.2019)- Назва з екрану.

23. Правила і методи мозкового штурму! : [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://biznesua.com.ua/pravila-i-metodi-mozkovogo-shturmu/> (дата звернення: 14.04.2019)- Назва з екрану.

24. Гавриш О. Розроблення стартап-проекту. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей/За заг. ред. ОА Гавриша // Київ: НТУУ «КПІ. – 2016.

25. GLOBAL TRENDS IN RENEWABLE ENERGY INVESTMENT 2018: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: http://www.iberglobal.com/files/2018/renewable_trends.pdf (дата звернення: 30.04.2019)- Назва з екрану.

26. Wind energy in Europe in 2018. Trends and statistics: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2018.pdf> (дата звернення: 27.04.2019)- Назва з екрану.

27. ДСТУ 2735-94. Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила використання. Вимоги безпеки дорожнього руху. //.

28. Патент на винахід UA 113379 C2 МПК F03D 3/04 (2006.01), опубл. 10.01.2017, Бюл.№1. Вітрогенератор. Колодка Ю.В., Бабару С.О. //.

29. Патент на корисну модель UA 61684 U МПК F03D 7/06 (2006.01), опубл. 25.07.2011, Бюл. №14. Вітроенергетична установка. Субота А.М, Коваленко Т.І., Радчук А.М. //.

30. International Patent WO 2007/057116 A1, F03D 9/00. Wind power generation system and method/ HASKELL, Roger, Leslie [US/US]; Valkyria Lane, El Cajon, California 92019 (US). - № 11/746,624; filed 16 Nov 2009; pub. date 20 May 2010. //.
31. ДСТУ 3321:2003 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять //.
32. Yuvraj S. K. Y. A. Z., Sapariya P. S. P. D. Design, Analysis and Fabrication of Vertical Axis Wind Turbine //.
33. Wind energy: proceedings of the Euromech colloquium. / Peinke J., Schaumann P., Barth S.: Springer Science & Business Media, 2007.
34. Wilson R. E., Lissaman P. Applied aerodynamics of wind power machines // – 1974.
35. Alam M., Iqbal M. A low cut-in speed marine current turbine // the journal of Ocean Technology. – 2010. – Т. 5, № 4. – С. 49-61.
36. Wind turbine technology: fundamental concepts of wind turbine engineering. / Spera D. A.: ASME press New York, 1994.
37. Jha A. R. Wind Turbine Technology, CRC Press, Taylor & Francis Group, //.
38. Труба ПЭ техническая d250x9,6мм SDR26: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://prom.ua/ua/p765743288-truba-tehnicheskaya-d250h96mm.html> (дата звернення: 04.04.2019)- Назва з екрану.
39. Wind power plants: theory and design. / Le Gourieres D.: Elsevier, 2014.
40. Kianifar A., Anbarsooz M., Javadi M. Blade curve influences on the performance of Savonius rotors: Experimental and numerical // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers-A. – 2011. – Т. 225, № 3. – С. 343.
41. Saha U., Thotla S., Maity D. Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2008. – Т. 96, № 8-9. – С. 1359-1375.
42. Mahmoud N., El-Haroun A., Wahba E., Nasef M. An experimental study on improvement of Savonius rotor performance // Alexandria Engineering Journal. – 2012. – Т. 51, № 1. – С. 19-25.

43. Nasef M., El-Askary W., Abdel-Hamid A., Gad H. Evaluation of Savonius rotor performance: Static and dynamic studies // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2013. – Т. 123. – С. 1-11.
44. Menet J.-L. A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study // *Renewable energy*. – 2004. – Т. 29, № 11. – С. 1843-1862.
45. Alexander A., Holownia B. Wind tunnel tests on a Savonius rotor // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 1978. – Т. 3, № 4. – С. 343-351.
46. Kang C., Liu H., Yang X. Review of fluid dynamics aspects of Savonius-rotor-based vertical-axis wind rotors // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2014. – Т. 33. – С. 499-508.
47. Damak A., Driss Z., Abid M. Experimental investigation of helical Savonius rotor with a twist of 180 // *Renewable Energy*. – 2013. – Т. 52. – С. 136-142.
48. Grinspan A., Saha U. Experimental investigation of twisted bladed Savonius wind turbine rotor // *International Energy Journal*. – 2005. – Т. 5.
49. Saha U., Rajkumar M. J. On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blades // *Renewable energy*. – 2006. – Т. 31, № 11. – С. 1776-1788.
50. Altan B. D., Atilgan M. A study on increasing the performance of Savonius wind rotors // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2012. – Т. 26, № 5. – С. 1493-1499.
51. Deda B. Wind energy and increasing the performance of Savonius wind rotors; M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering, Graduate School of Natural and ..., 2000.
52. Altan B. D. Performance investigation of Savonius wind rotor with curtaining method; Ph. D. Thesis in: Mechanical Engineering, Graduate School of Natural and ..., 2006.
53. How Wind Power Works: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power2.htm> (дата звернення: 18.04.2019)- Назва з екрану.
54. Контролер для вітрогенератора GreenChip W3000S: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://greenchip.com.ua/13-0-45-1.html> (дата звернення: 28.04.2019)- Назва з екрану.

55. Предназначение, виды, схема подключения и цена инвертора для ветрогенератора: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://tcip.ru/blog/wind/invertor-dlya-vetrogeneratora.html> (дата звернення: 29.04.2019)- Назва з екрану.
56. Типы аккумуляторов для ветрогенераторов (АКБ): что нужно знать и на что обратить внимание при выборе: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://6sotok-dom.com/uchastok/raznoe-uchastok/tipy-akkumulyatorov-dlya-vetrogeneratorov.html> (дата звернення: 29.04.2019)- Назва з екрану.
57. AC/DC-перетворювачі: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://masteram.com.ua/uk/catalogue/power-source/ac-dc-transducer/> (дата звернення: 30.04.2019)- Назва з екрану.
58. Компоненты ветрогенератора: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: https://medium.com/@Igor_Kripak/wind-a1349befd773 (дата звернення: 30.04.2019)- Назва з екрану.
59. Rathod K., Kamdi S. Design & fabrication of PVC bladed inexpensive wind turbine // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE). – 2014. – Т. 11, № 4. – С. 114-119.
60. Aerodynamic performance of a 5-metre-diameter Darrieus turbine with extruded aluminum NACA-0015 blades. / Sheldahl R. E., Klimas P. C., Feltz L. V.: National Technical Information Service, 1980.
61. Ghoshal A., Sundaresan M. J., Schulz M. J., Pai P. F. Structural health monitoring techniques for wind turbine blades // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2000. – Т. 85, № 3. – С. 309-324.
62. Соловьева А. А., Кулак К. С., Артамонова Е. Ю. Использование композиционных материалов при проектировании ветроэнергетических установок // Молодой ученый. — 2016. — №22.3. — С. 50-54. — URL <https://moluch.ru/archive/126/35133/> (дата обращения: 12.11.2019). //
63. Butler B. L., Blackwell B. F. Application of laminated wooden blades to a two-meter Darrieus type vertical axis wind turbine // NASA STI/Recon Technical Report N. – 1976. – Т. 77.

64. Фізика (Фізика для інженерів): Підручник / І.Ф.Скіцько, О.І.Скіцько: Київ: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 513 с //.
65. Справочник по сопротивлению материалов. / Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В.: Наукова думка, 1988.
66. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. / Под ред. И. Н. Жестковой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 912 с. – ISBN 5–217–02964–1 (5–217–02962–5), ББК 34.42я2, УДК 621.001.66 (035) //.
67. Сортамент стальных электросварных прямошовных труб ГОСТ 10704-91 (с исправлениями) //.
68. Design of a Savonius Wind Turbine: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://medilab.pme.duth.gr/Design%20of%20a%20Savonius%20Wind%20Turbine.pdf> (дата звернення: 30.04.2019)- Назва з екрану.
69. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/u_course/Lekc/Part1/Glava2/2.06.htm (дата звернення: 01.05.2019)- Назва з екрану.
70. ГОСТ 831-75 Подшипники шариковые радиально-упорные однорядные. Типы и основные размеры (с Изменением N 1) //.
71. ДСТУ ISO 898-1:2003 Механические свойства крепежных изделий, изготовленных из углеродистой и легированной стали. Часть 1. Болты, винты и шпильки (ISO 898-1:1999, IDT) //.
72. Поливинилхлорид (ПВХ) : основные свойства, область применения: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.plastinfo.ru/information/articles/38/> (дата звернення: 05.02.2019)- Назва з екрану.
73. Трубы для наружной канализации ПВХ: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <http://polyhimplast.ru/up-kanaliz.html> (дата звернення: 05.05.2019)- Назва з екрану.

74. Правильный выбор генератора для ветряка: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://slarkenergy.ru/vetrogenerator/generator-dlya-vetryaka.html> (дата звернения: 05.04.2019)- Назва з екрану.
75. Генераторы на постоянных магнитах 500 Ватт 600 об/мин: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <http://windkraft.com.ua/product/generatory-na-postojannyh-magnitah-500-vatt-600-obmin/> (дата звернения: 05.04.2019)- Назва з екрану.
76. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов / С. А. Чернавский, К. Н. Боков, И. М. Чернин и др.— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1988. — 416 с.: ил. //.
77. ГОСТ 1284.1-80 Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Основные размеры. Методы контроля (размеров и методов их контроля. Сведения из перечня "Указатель государственных стандартов СССР 1988 г.", Издательство стандартов 1988) //.
78. Шкив клинового ремня SPZ: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://motor-reduktor.com.ua/shkiv-spz-sklad-v-kieve> (дата звернения: 05.05.2019)- Назва з екрану.
79. Клиновые шкивы под тапербуш: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: http://sati-spb.ru/catalog/klinovie_shkivi_taperbush#spz-6 (дата звернения: 05.05.2019)- Назва з екрану.
80. Тапербуши: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <http://sati-spb.ru/catalog/taperbushi> (дата звернения: 05.05.2019)- Назва з екрану.
81. ГОСТ 23360-78. Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки (с Изменениями N 1, 2) //.
82. Алюминиевые композитные фасадные панели: характеристики и технические особенности: [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <http://allfacades.com/2014/06/alyuminievye-kompozitnye-fasadnye-paneli->

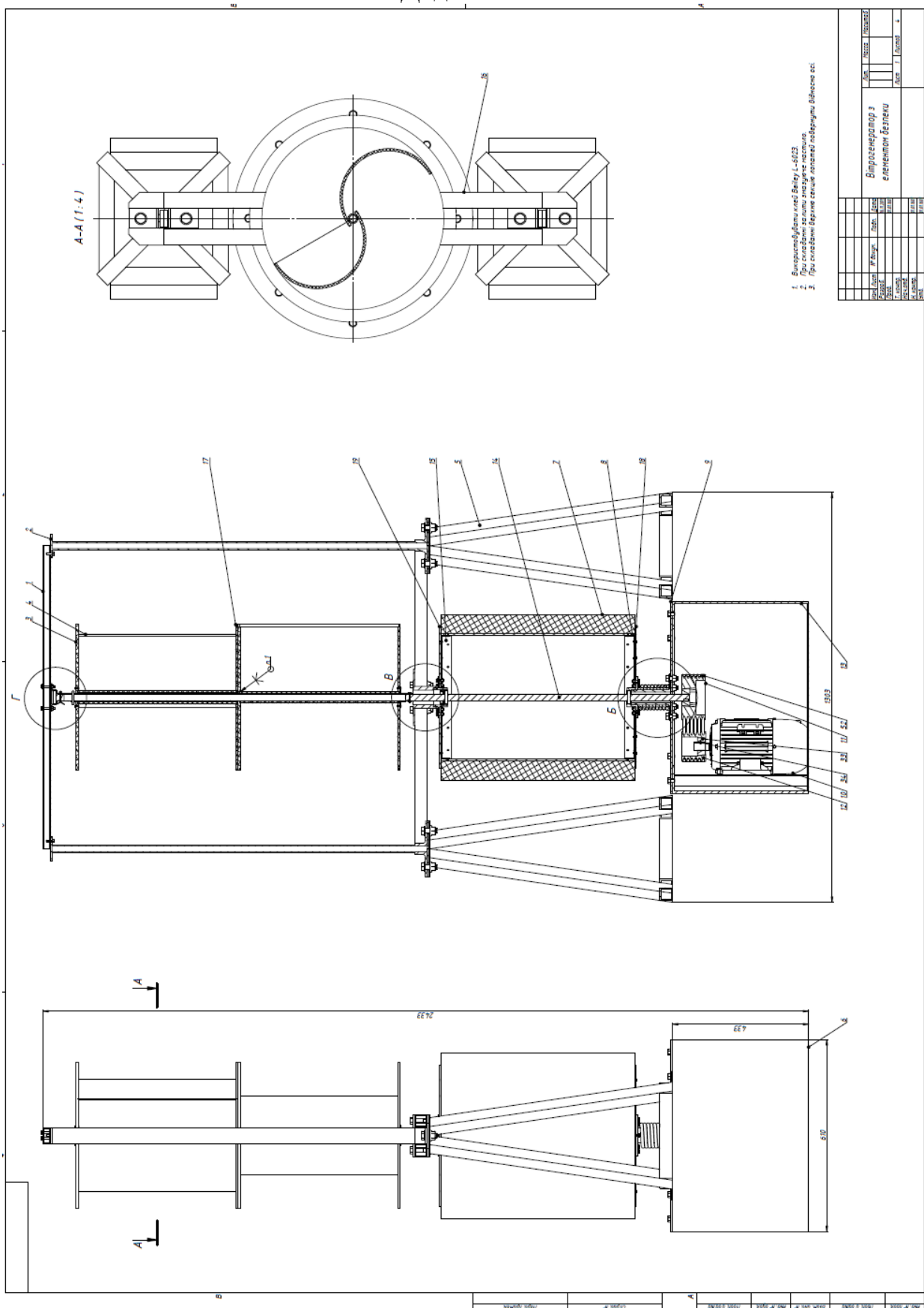
характеристики-i-texnicheskie-osobennosti/ (дата звернення: 05.05.2019)- Назва з екрану.

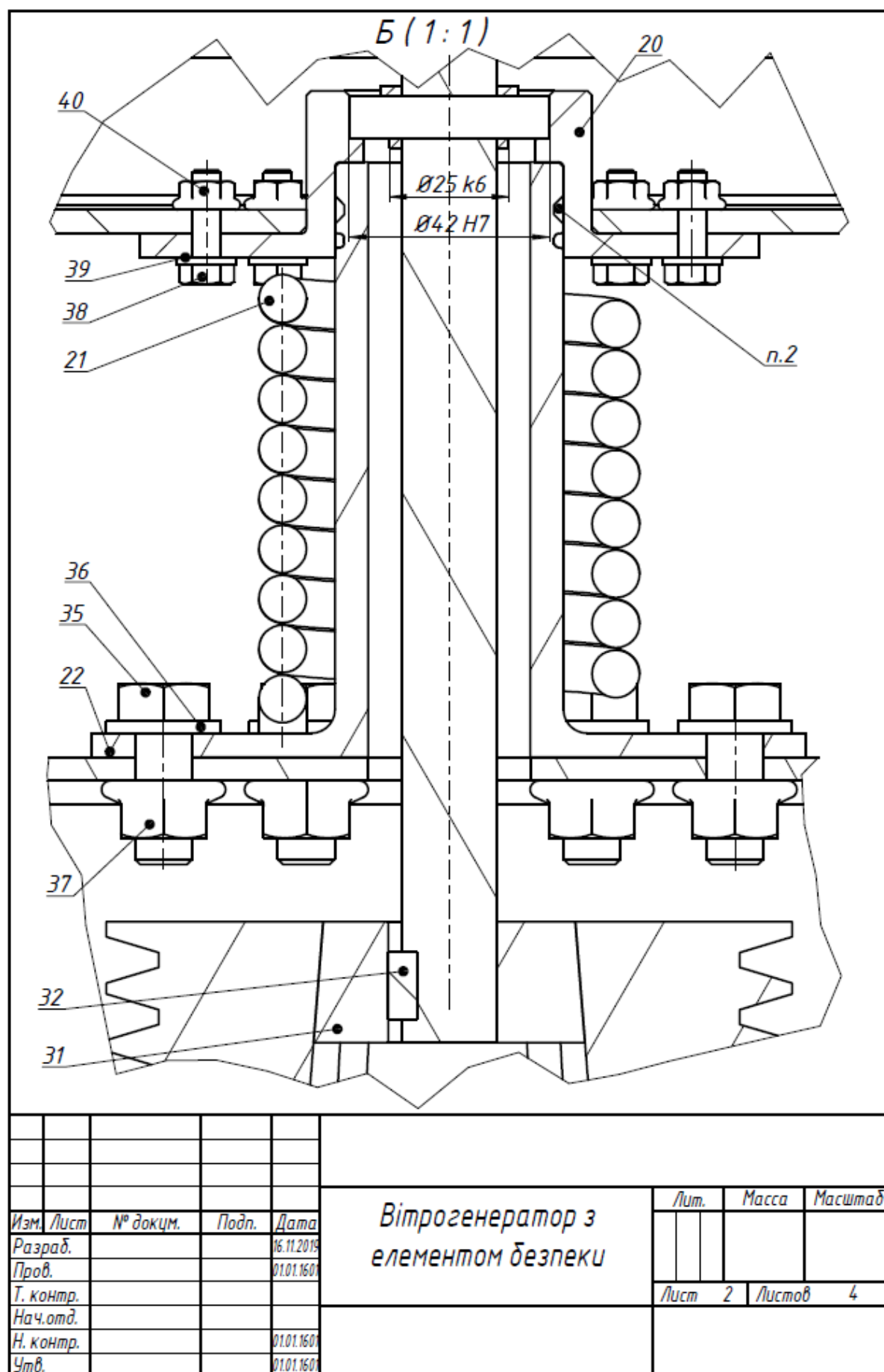
83. Галасюк К., Галасюк Е. Інновації як інструмент подолання кризових явищ на підприємствах готельного господарства //. – 2013.

84. Монополістична конкуренція: [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу:

https://pidruchniki.com/10290718/politekonomiya/monopolistichna_konkurenciya

(дата звернення: 14.06.2019)- Назва з екрану.





Додаток Б